M. GROTOWSKI

NEWTON

BIBLIOTECZKA PRZYRODNICZA



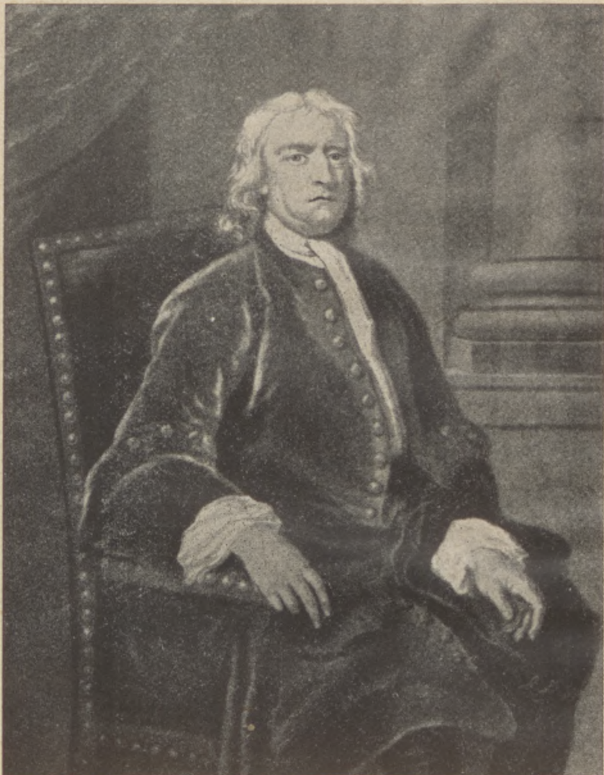
M. GROTOWSKI

NEWTON

NAKŁADEM KSIĘGARNI ŚW. WOJCIECHA

NEWTON

I.



Izaak Newton

MARJAN GROTOWSKI

NEWTON

CZ. I.

Z 24 RYCINAMI

NAKŁAD KSIĘGARNI ŚW. WOJCIECHA
POZNAŃ — WARSZAWA — WILNO — LUBLIN
1932

TŁOCZONO W DRUKARNI ŚW. WOJCIECHA W POZNANIU
WINIETA OKŁADKOWA M. JAROSZYŃSKIEJ WYKONANA
TECHNIKĄ OFFSETOWĄ.

ROZDZIAŁ PIERWSZY.

Dzieciństwo i młodość.

„...Dziecię Anglji, kształt, oddech jej łona,
Co błoń jej kochał, po drogach jej chodził,
Wdychał powietrze, które wdycha ona,
W słońcu jej kąpał się i rzekach brodził".

Robert Brooke
(Przekład S. Helsztyńskiego).

Gdy podróżny, idący wielkim północnym traktem z Londynu do Yorku, skręci, nie dochodząc do miasteczka Grantham, na boczną drogę, wiodącą w kierunku zachodnim, po przejściu paruset metrów ujrzy w malowniczej i żyznej dolinie rzeczki Witham niewielką, z kilkunastu zaledwie złożoną domów wioskę Woolsthorpe. Poza jej ostatniemi domami spostrzeże dom z szarego kamienia, obrośnięty bluszczem. Przez mały sadzik dojdzie do niskich drzwi, prowadzących do wnętrza domu o wielkich z kamienną posadzką pokojach. Na pierwszem piętrze, w pokoju na lewo od klatki schodowej znajdzie przed kominkiem stół kamienny i odczyta wyryty na nim dwuwiersz

„przyrodę i prawa przyrody okrywała noc,
Bóg rzekł: „niech będzie Newton" i wszystko stanęło
[w świetle".[1])

---

[1]) Nature and Nature laws lay hid in night
God said, Let Newton be! — and all was light.

W tym pokoju urodził się 25 grudnia 1642 r. Izaak Newton. Dom rodzinny Newtona, dwór (manor-house), jak go w okolicy nazywano, był może ze względu na nieco większą zamożność właścicieli lepiej urządzony od domów innych drobnych posiadaczy ziemskich, stanowiących pod-



Ryc. 1. Dom, w którym urodził się Izaak Newton.

ówczas około jednej siódmej całej ludności Anglji i zaliczanych urzędowo do wolnych osadników (yeomanry). Tryb jednak życia jego mieszkańców, stan majątkowy, upodobania z pewnością niczem szczególnem się nie wyróżniały. O Newtonach bowiem głucho w historji Anglji. Byli oni tymi bezimiennymi obywatelami, którzy często liczbą swą

zaważyć mogą na losach swego kraju, których cnoty zapewniają rozkwit ojczyźnie, wady do upadku ją prowadzą, lecz którzy bezpośredniej osobistej za jej losy odpowiedzialności nie ponoszą. Zdawna osiedli w hrabstwie Lincolnshire pracowali na roli, nie marząc o zaszczytach i sławie, ciesząc się skromnym dostatkiem. Ostatni właściciel Woolstorpe'u umarł na parę miesięcy przed przyjściem na świat jedynaka syna. Pogrobowcowi dano na chrzcie d. 1 stycznia 1643 r. imię ojca — Izaak. Dziecko przyszło na świat przedwcześnie, było słabo rozwinięte fizycznie i chorowite.

W trzy lata po śmierci męża matka Izaaka wyszła powtórnie zamąż za duchownego protestanckiego Barnabę Smitha i przeniosła się do pobliskiej wioski North-Witham. Izaak pozostał w Woolsthorpe pod opieką babki. Czytać, pisać, rachować uczył się w szkółkach pobliskich wiosek, poza tem był, jak się zdaje, pozostawiony samemu sobie. Od innych dzieci wiejskich różnił się może większem zamiłowaniem do robót ręcznych i zręcznością w ich wykonywaniu. To zamiłowanie nie opuściło go i wtedy, gdy jako dwunastoletni chłopiec został wysłany do odległego o dziesięć kilometrów miasteczka Grantham, gdzie go oddano do szkoły. Szkoła, nosząca tytuł królewskiej i umieszczona w pięknym budynku z czasów Tudorów, nie zdołała wzbudzić wielkiego zainteresowania w nowym swym wychowanku. Przyzwyczajony do kroczenia własnemi drogami mało poświęcał czasu nauce szkolnej. Wyrycie starym zwyczajem swego nazwiska na ścianie klasy, inicjałów zaś na framudze okiennej uważał prawdopodobnie za całko-



Ryc. 2. Wnętrze szkoły królewskiej w Grantham (stan obecny).

wicie wystarczający dowód swego udziału w pracach szkolnych. To też uczniem był miernym, właściwe bowiem jego życie rozpoczynało się dopiero wtedy, gdy po ukończeniu lekcyj wracał do domu aptekarza Clarke'a, u którego mieszkał i gdzie mógł spokojnie uprawiać swoje zajęcia. Tam właśnie, starając się zapomnieć o szkole, budował wielki



Ryc. 3. Inicjały I. N., wyryte przez Newtona na framudze okiennej.

zegar wodny, wysokości przeszło metra. Wskazówkę tarczy poruszał drążek drewniany, który podnosił się i opadał pod działaniem kropli, wypływającej przez otwór w dnie zbiornika. W domu Clarke'a przeżywał chwile triumfu, gdy zegar zaczął wreszcie chodzić, lub okresy przygnębienia, o których jeszcze w późnej starości wspominał,

gdy mały otworek zatykał się i zegar stawał lub zaczynał chodzić nieregularnie. Czasami spacer przynosił nowy pomysł, np. budowy wiatraka takiego, jaki stawiano wtedy w okolicach Granthamu, pomysł urzeczywistniony odrazu i co więcej udoskonalony. Wiatrak bowiem Newtona był uniezależniony od siły wiatru, motorem miała być mysz, która wspinając się po umieszczoną na pewnej wysokości słoninę, poruszałaby skrzydła wiatraka. Niekiedy chodziło o zwykły figiel: czyż latarka papierowa, umieszczona na latawcu, wypuszczonym możliwie wysoko, nie będzie podobna do komety, zjawiającej się nad cichem miasteczkiem, i nie przerazi jego mieszkańców, wierzących święcie, że

„osiem rzeczy niosą ze sobą komety,
gdy ukazują się na wysokościach:
wiatr, głód, zarazę oraz śmierć króla,
wojnę, trzęsienie ziemi, potop oraz okropne zjawiska".

Zajęcia te wystarczały mu całkowicie. Kolegów unikał, w zabawach ich na cmentarzu kościelnym, będącym miejscem rekreacyj uczniów, udziału nie brał. Ten chłopiec małomówny, trochę odludek, mógł jednak zdobyć się i na inne rzeczy. Wystarczy prosty przypadek, zadraśnięcie jego ambicji, przeciwstawienie się jego despotycznemu, nie znoszącemu oporu charakterowi, aby ujawniły się nowe, niepodejrzewane przez kolegów cechy jego umysłu. Gdy podczas rekreacji jeden z kolegów kopnie go boleśnie w brzuch, Newton nie poprzestanie na doraźnej zemście, jaką sobie wymierzy, postanowi upokorzyć napastnika na terenie szkolnym i przewyższyć w postępach. Wytrwałą pracą

plan swój urzeczywistnia: utalentowany rzemieślnik okazuje się równie utalentowanym w pracy umysłowej.

W 1656 r. umarł jego ojczym. Matka z trojgiem dzieci z drugiego małżeństwa wróciła do Woolsthorpe'u. Na czternastoletniego chłopca spadły nagle ciężkie obowiązki głowy rodziny. Piękne i beztroskie dni Granthamu miały się skończyć; trzeba było wrócić do Woolsthorpe'u i zająć się gospodarstwem. Było to ciężkiem przejściem dla Newtona. Teraz, gdy rozbudzone nagle zainteresowanie nauką otwierało przed nim świat pełen tajemnic, zagadnień, które należało zbadać, przyrządów, które trzeba było zbudować, zajmowanie się gospodarstwem, jazda co sobota z furą, wyładowaną produktami rolnemi, na targi do Granthamu wydawały się rzeczami ponad siły. Zazwyczaj też fura zostawała na łasce parobka w oberży „Pod głową Saracena", a młody dziedzic Woolsthorpe'u biegł do miłego domu Clarke'a, aby pożyczyć lub przejrzeć jakąś książkę ze skromnej bibljoteki prowincjonalnego aptekarza. Czasami zajęcia gospodarskie musiały ustępować na plan drugi wobec konieczności wyrżnięcia na południowej ścianie domu zegara słonecznego lub wykonania doświadczeń, nieraz dość dziwacznych. W czasie pamiętnego huraganu d. 3 września 1658 r., kiedy, jak pisał poeta Waller, niebo piorunami i burzami obwieszczało Anglji śmierć wielkiego Cromwella, Newton skakał po polu w różnych kierunkach, aby sprawdzić, czy wiatr ma jaki wpływ na zasięg skoku.

Rodzina spostrzegła się wreszcie, że Izaak nie będzie następcą swego ojca w pracy na roli. Matka

za radą swego brata, wielebnego Williama Ayscougha, proboszcza parafji Burton Coggles, zgodziła się na dalsze studja syna. Newton wrócił do Grantham do domu Clarke'a; dom ten w oczach Newtona nowego teraz nabrał uroku dzięki obecności „młodej i kwitnącej" panny Storey, córki pani Clarke z pierwszego małżeństwa, czy też, jak inni twierdzą, jej siostrzenicy. Stała się ona dla Newtona pierwszą i ostatnią miłością jego życia, której na zawsze pozostał wierny. Ta krótkotrwała idylla — za następnym powrotem Newtona do Grantham ukochana jego była już żoną innego — wypełniała mu teraz wszystkie wolne chwile. Tym razem zamiast mniej lub więcej „uczonych" przyrządów z pod zręcznych palców Newtona wychodziły zgrabne kredensiki, stoliki i t. p., które składane w darze wybrance jego serca miały być wymowniejszym od słów dowodem jego uczuć. Być może, że wtedy właśnie powstawały wiersze, o których sam później wspominał, i które, jak mówił, pisał z dużą łatwością[1]).

Nie przeszkadzało mu to jednak w przygotowywaniu się do studjów uniwersyteckich i korzystaniu z niezwykle zresztą skromnych pomocy naukowych, jakiemi rozporządzała szkoła prowincjonalna. W miasteczku sława jego uczoności była silnie ugruntowana. O jego roztargnieniu, stanowiącem oczywisty jej dowód, już wtedy krążyły legendy, a kiedy nadeszła chwila rozstania się ze szkołą, kierownik jej Stokes w przemówieniu, zwróconem do wszystkich uczniów, wychwalał cha-

---

[1]) Z wierszy tych nic się nie zachowało, zdaje się, bez wielkiej szkody dla piśmiennictwa.

rakter i zdolności Newtona, podając go jako przykład godny naśladowania.

D. 5 czerwca 1661 r. Izaak Newton został przyjęty do kolegjum Św. Trójcy (Trinity College) w Cambridge, aby oddać się „swobodnie i spokojnie" pracy naukowej, którą zapewniał słuchaczom i profesorom uniwersytetu przywilej króla Henryka II.

*

*   *

Dość trudną byłoby rzeczą podać dokładną datę powstania uniwersytetu w Cambridge. Jedno jest rzeczą pewną, że jego założenie wiąże się z zatargiem, wybuchłym w 1209 r. między żakami, studjującymi w Oksfordzie, a władzą królewską. Na znak protestu przeciwko wyrokowi króla Jana Bez ziemi, który skazał na hańbiącą karę śmierci przez powieszenie kilku ich kolegów, trzy tysiące żaków opuściło Oksford i rozproszyło się po Anglji. Część ich przybyła do Cambridge i tam już pozostała. W owym czasie Cambridge było miastem jakby pogranicznem. Na północ bowiem od niego zaczynały się już wielkie błota, pozostałość ogromnego jeziora wewnętrznego, błota, przez które mógł się przedostać ten tylko, kto znał tajemne przejścia i ścieżki. Z biegiem czasu rzeka, od której miasto wzięło nazwę, Granta (Grantabridge — most przez Grantę, następnie Cambridge) zamuliła się znacznie, wody jej zaczęły płynąć leniwiej i wreszcie do tego stopnia przestała odgrywać jakąkolwiek rolę w życiu miasta, które jej ongiś, gdy stanowiła dopływ wielkiego jeziora, zawdzięczało powstanie, że straciła swą nazwę, aby w 15-ym czy 16-ym wieku zyskać nową. Tym razem miasto jej nadało

nazwę, została nazwana rzeką Cam. Tradycję handlową na plan drugi zepchnęła sława krzepnącego z każdym wiekiem uniwersytetu.

Dziwnym bowiem zbiegiem okoliczności to właśnie miasto, leżące na krańcach cywilizowanej Anglji, na pograniczu napół barbarzyńskich hrabstw północnych, zdala od stolicy królewskiej, upodobali sobie zbiegowie z Oksfordu. Było to tem dziwniejsze, że szkolarze ówcześni nie należeli do ludzi spokojnych, niechętnie zmieniających miejsce pobytu. Typ wędrownego żaka, przenoszącego się z miejsca na miejsce, z węzełkiem, zawierającym parę książek, jako jedynym majątkiem, był w owej epoce powszechny. Tym ciągłym wędrówkom, przybierającym często masowy charakter, sprzyjał w wysokim stopniu ustrój ówczesnego uniwersytetu. Tworząc organizację, niczem się nie różniącą od cechów rzemieślniczych, ze wszystkiemi stopniami, odpowiadającemi istniejącym do dziś dnia stopniom terminatora, czeladnika i majstra, mieli nad zwykłemi cechami tę wyższość, że ani prawnie ani faktycznie nie byli związani ze stałem miejscem pobytu. W przeciwieństwie bowiem do przywilejów i praw cechów rzemieślniczych, zazwyczaj lokalnych, ich prawa i przywileje, przyznawane, jak to po 1250 r. weszło w powszechny zwyczaj, przez bulle papieskie, miały ze względu na władzę, która je nadawała, charakter międzynarodowy. Przenosząc się do innego miasta, a nawet do innego kraju, mogli sprawować swój zawód bez zabiegania o uznanie nabytych praw przez władze miejscowe.

Z miastem, w którem przebywali, nic ich właściwie nie łączyło. Rządząc się własnemi prawami,

nie byli też z niem związani żadnym węzłem materjalnym. To, co dziś nazywamy uniwersytetem i co w naszym umyśle łączy się nietylko z pojęciem ciała nauczającego i słuchaczów, lecz również i z budynkami, aulami, pracowniami, bibljotekami, było najzupełniej obce uniwersytetowi średniowiecznemu. Uniwersytet stanowili ludzie, nie budynki. Wykłady odbywały się początkowo w wynajętych lokalach (domus scolarum), ważniejsze dysputy i nadawanie stopni naukowych w kościołach. Jeszcze w 14 wieku tytuł profesora był prawie nieznany, wykładali t. zw. regenci, to znaczy ci magistrowie, którzy przynajmniej od pięciu lat posiadali ten stopień. Słuchacze, mieszkając w wynajętych domach (hospicia), które pozostawały pod zarządem magistra, stanowili odrębny, od władz miejskich niezależny organizm. To też wzajemne stosunki mieszczan i słuchaczów, a nawet władz uniwersyteckich, często nie liczących się z potrzebami ludności miejskiej, nie były idyliczne. Żacy mieli w kołach mieszczańskich jak najgorszą opinję. „W Paryżu uczą się sztuk wyzwolonych, w Orleanie poznają autorów, w Salerno studjują kunszt aptekarski, ale nigdzie nie uczą się przyzwoitego zachowania" pisał o nich mnich francuski w 12 wieku. Szkolarze odpłacali mieszczanom pięknem za nadobne. Stara pieśń studencka stwierdzała, że należy mieszczan uważać za tępaków, głusi są bowiem i niemi w rzeczach sztuki[1]; w popularnej zaś modlitwie niezgoda między mieszczanami

---

[1]) Aestimetur laicus ut brutus, nam ad artem surdus est et mutus.

i szkolarzami uważana była za dzieło rąk Bożych.[1])

Rzecz prosta, że i w Cambridge stosunki układały się podobnie. Kroniki uniwersyteckie i księgi miejskie, szczególniej w pierwszych wiekach istnienia uniwersytetu, notują zatargi, czasami bardzo ostre, między uniwersytetem a miastem. Jeszcze na początku 16 wieku Erazm Rotterdamski, (1467—1536) który przez lat kilka wykładał w Cambridge język grecki, pisał, że lud prosty w Cambridge przewyższa w złośliwości i prostactwie wszystkich swoich rodaków.

Mimo to uniwersytet stopniowo zapuszczał korzenie w grunt miejscowy, szczególnie od czasu, gdy bulla papieża Jana XXII, wydana w 1318 r., uświęciła jego istnienie i nadała mu charakter prawidłowego Studium Generale. Dawne hospicja znalazły poważnego rywala w kolegjach (colleges); pierwsze kolegjum powstało jeszcze w 1280 r., dzięki światłej inicjatywie Hugona, biskupa diecezji Ely, do której należało Cambridge. Pomysł tworzenia kolegjów, któreby ułatwiały naukę niezamożnym szkolarzom, dała paryska Sorbona, i stamtąd poprzez Oksford dotarł on po stu blisko latach do Cambridge, aby stać się narodową instytucją angielską, jeszcze dziś wyróżniającą uniwersytety w Oksfordzie i Cambridge z pomiędzy innych uniwersytetów w świecie. Początkowo jedynem zadaniem kolegjów było dawać bezpłatne mieszkanie i życie

---

[1]) Deus, qui multitudinem rusticorum ad servitium clericorum venire fecisti et inter nos et ipsos discordiam seminasti.

ubogim szkolarzom, z biegiem jednak czasu zakres ich działania coraz bardziej się rozszerzał. Temu rozwojowi sprzyjała opieka królów i biskupów, łożących znaczne stosunkowo środki na potrzeby uniwersytetu. Motywem głównym było zrozumienie roli Cambridge w życiu umysłowem północnej Anglji, a zczasem i Szkocji. Motywem wtórnym, ale może równie ważnym, był wzgląd, że w przeciwieństwie do niespokojnego Oksfordu, którego uczelnię arcybiskup Courtenay nazwał „uniwersytetem herezyj", spokojne i lojalne Cambridge nigdy na taki zarzut nie zasłużyło. To prawdopodobnie skłoniło Henryka VI, aby planując słynne kolegjum królewskie (Kings College), umieścić je w Cambridge, nie zaś w sławnym i starszym Oksfordzie. Ale plany królewskie nie zostały w pełnej mierze urzeczywistnione; przez wiele lat jedynem po nich wspomnieniem była wielka pusta przestrzeń w samym środku miasta, gdzie pasły się spokojnie owce, a gdzie uprzednio stały domy mieszczan i odbywały się targi, przeniesione na rozkaz królewski gdzie indziej. Dopiero Henryk VIII w 1546 r. urzeczywistnił częściowo ten plan, zakładając kolegjum Św. Trójcy (Trinity College).

Kolegjum Św. Trójcy zostało zakrojone na wielką skalę. Miało składać się z magistra, sześćdziesięciu towarzyszy (fellows), biorących udział w zarządzie kolegjum i dzielących się jego dochodami, sześćdziesięciu dziewięciu szkolarzy poza kapelanami, chórzystami i świeckiemi osobami. Zgodnie z ewolucją, jaką już wówczas odbyły kolegja, kolegjum Św. Trójcy miało być nietylko przytułkiem, hospicium, dla ludzi, chcących się

uczyć lub pracować naukowo, lecz również zakładem naukowym. Każdy uczeń pozostawał pod opieką t. zw. tutora, którym był jeden z towarzyszy (fellows). „Opiekunowie (tutores) powinni pilnie uczyć tego, czego uczyć należy", nakazują przepisy z 1560 r., wydane za Edwarda VI; „wychowańcy (pupilli) natomiast winni opiekunowi posłuszeństwo i szacunek, należny ojcu". Towarzysz mógł mieć tylko jednego wychowanka, jedynie magister, przewodniczący kolegjum, mógł mieć ich czterech. Plan nauki był szczegółowo wyznaczony. W pierwszym roku studjów słuchacz uczył się dialektyki i zasad geometrji Euklidesa, w drugim logiki, w trzecim etyki, polityki i retoryki, w czwartym — nauk fizycznych. Wszystkie wykłady, dostępne dla słuchaczów, nie posiadających stopnia akademickiego, odbywały się rano w auli kolegjum pod dozorem t. zw. quaesitores aulae, później zresztą nazywanych lektorami. O tym samym czasie w rozmównicy odbywały się wykłady dla bakałarzy. Ten stopień można było osiągnąć po wykazaniu dokładnej znajomości przedmiotów, wykładanych w ciągu czterech lat pierwszych. Dopiero po bakalaureacie nabywano prawo do składania następnego egzaminu na stopień magistra. Trzy dni w tygodniu poświęcone były przemówieniom i dyskusjom po angielsku, grecku i łacinie. Kolegjum stanowiło więc zamkniętą całość, związaną z uniwersytetem przez egzamina na stopnie naukowe, które mógł nadawać tylko uniwersytet.

Poziom studjów w kolegjum stał niewątpliwie o wiele wyżej od przeciętnego poziomu nauk w Anglji, gdzie jeszcze w 15 wieku najczęściej

używanym podręcznikiem studenckim było łacińskie tłumaczenie Arystotelesa, rzadziej Platona, o książkach greckich mowy zupełnie nie było, poetyka zaś i historja były przedmiotami zupełnie nieznanemi studentom. W postaci, jaką im nadały przepisy Edwarda VI, studja mogły istotnie zapewnić szerokie ogólne wykształcenie każdemu słuchaczowi uniwersytetu, pozostawiając mu jednocześnie dzięki licznym stypendjom możność dalszej specjalizacji po zdobyciu pierwszych stopni naukowych. Słabą jednak stroną i to nietylko kolegjum Św. Trójcy, lecz całego uniwersytetu w Cambridge, było daleko idące lekceważenie nauk przyrodniczych.

Wielkie przeobrażenie umysłowe, przez jakie od Kopernika począwszy poprzez Keplera, Galileusza i Kartezjusza przechodziła Europa, walka ideowa, która rozgrywała się między filozofją Arystotelesa a nowem pojmowaniem zjawisk przyrodniczych, słabe naogół znajdowały echo w Anglji, zatopionej w roztrząsaniu zagadnień teologicznych i pogrążonej w perypetjach walki wewnętrznej między królem a narodem, między katolicyzmem a protestantyzmem i wreszcie między różnemi odcieniami nowych wyznań. W epoce silnych wierzeń, bronionych zaciekle i wyznawanych fanatycznie, badanie przyrody było czemś nie mającem głębszego znaczenia, o ile nie dawało bezpośrednich argumentów w walce z przeciwnikiem, najczęściej zaś, i to we wszystkich obozach, spotykało się z podejrzliwością i niechęcią. To, co się jeszcze w połowie 17 wieku nazywało matematyką, składało się zazwyczaj z przedmiotów, dość luźno ze sobą zwią-

zanych. Wchodziła tam geometrja wraz z kosmografją, arytmetyka, złączona z wykładem magicznych własności liczb według Pitagorasa, astronomja, oparta na systemie Ptolomeusza, w szerokiej mierze uwzględniająca astrologję i „naturalną magję". To też matematyków uważano jeszcze w początkowych latach reformacji za „czarnoksiężników i nigromantów". Nawet w 17 wieku geometrję, jak stwierdzał znakomity filozof Hobbes, nazywano „sztuką djabelską", ojcowie bali się posyłać synów do uniwersytetu, aby „nie skalali się tą ciemną nauką". Trwały w ten sposób uporczywie echa wczesnego średniowiecza, gdy prawodawca żądał, aby „nikt nie szukał rady u wieszczka lub matematyka"[1]). Głosy, które niekiedy odzywały się w obronie nauk przyrodniczych, były dość nieśmiałe. Wielki poeta Milton pisze w obronie fizyki, że nie jest ona „zbyt nudna", co do innych dziedzin wiedzy przyrodniczej radzi poprzestać na Arystotelesie i Senece.

Nieliczne i odosobnione próby zajmowania się wśród powszechnego zamętu zagadnieniami naukowemi skupiały się raczej koło uniwersytetu oksfordzkiego. Do Oksfordu przeniósł się matematyk Wallis, nie mogąc znaleźć w Cambridge pola dla swej działalności, w Oksfordzie wykładał Robert Boyle (1627—1691), którego książka „Chemista scepticus" miała stanowić ważne wydarzenie w dziejach chemji; w Oksfordzie szukała przytułku wypędzona z Londynu przez zamieszki polityczne

---

[1]) „Nemo consulet haruspicem aut mathematicum" — codex Theodosianus.

znaczna grupa „miłośników nauki i pokoju", tworzących związek t. zw. „niewidzialnych", z którego zczasem miało powstać słynne Towarzystwo Królewskie. Cambridge w tem wszystkiem udziału nie brało.

Nadchodziły już jednak lata, które miały zmienić ten stan rzeczy i ugruntować w Anglji nową, jak ją nazywano, filozofję, lata, w których ku wielkiemu zgorszeniu purytanów widziano, jak król, a za nim dwór i wyższe sfery towarzyskie zajmowały się gorliwiej może, niż sprawami państwowemi, doświadczeniami przyrodniczemi, lata, które miały okryć sławą naukę angielską. Los szczęśliwy zdarzył, że rok, od którego ten okres czasu się zaczynał, był rokiem, w którym rozpoczynał studja uniwersyteckie Newton.

* *
*

Newton został przyjęty do kolegjum Św. Trójcy w charakterze t. zw. subsizara. Nazwą tą oznaczano słuchaczy ubogich, którzy wzamian za naukę i utrzymanie byli zobowiązani do pewnych posług, stanowiąc jakby służebny personel kolegjum. Była to zresztą jedyna różnica, jaką statut kolegjalny ustalał między nimi a słuchaczami zamożnymi; pobierali oni tę samą naukę i tym samym, co i tamci, podlegali przepisom. Pod władzę tych tradycją uświęconych przepisów przeszedł obecnie Newton. Przeskok od prawie całkowitej swobody w Grantham był dość duży, różnica była jednak tylko pozorna. I w Cambridge bowiem w pierwszym okresie swego pobytu Newton nie znalazł nikogo, ktoby mógł nauką jego pokierować. Między

kolegami nie było ani jednego, choć cokolwiek wybitniejszego umysłu; tutor Newtona, starszy od niego o lat jedenaście Benjamin Pulleyn, późniejszy profesor języka greckiego, zbyt mało interesował się temi zagadnieniami, które były dla Newtona najważniejsze, aby mieć dostateczny wpływ na nowego wychowanka. W dodatku jedna z bardzo nielicznych kiążek, które Newton w Grantham starannie przestudjował, „Logika" Sandersona, dar wuja proboszcza, dała mu nad tutorem nieoczekiwaną przewagę. Okazało się bowiem, że uczeń lepiej od swego wychowawcy orjentuje się we wszystkich subtelnościach scholastycznej logiki.

W tych warunkach więzy uniwersyteckie okazały się, podobnie jak uprzednio regulamin szkoły granthamskiej, niezbyt uciążliwe. Podobnie jak w Woolsthorpe, jak w Grantham, Newton pozostawiony został samemu sobie. Tryb jednak życia uniwersyteckiego, wymagania, związane ze słuchaniem wykładów, nieco ograniczały tę swobodę. Pierwsze wykłady, na jakie skierował go tutor, zetknęły go z dziełem, o którem w szkole granthamskiej na pewno nigdy nie słyszał. Dziełem tem była optyka Keplera — prawdopodobnie jego „Dioptrica", niedawno przedtem (1653 r.) przedrukowana w Londynie, — którą Pulleyn mu polecił jako książkę pomocniczą. Proste i jasne rozważania Keplera, operujące jedynie elementarnemi pojęciami geometrycznemi i poparte opisem pięknych i pomysłowych doświadczeń, nie sprawiły żadnych trudności Newtonowi, który ku zdziwieniu swego tutora w krótkim stosunkowo czasie opanował cały zawarty w książce materjał. Być może jednak, że już wtedy Newton zauważył

braki swej wiedzy geometrycznej, poczucie ich wzrosło znacznie po zabraniu się do czytania książki astrologicznej, kupionej na wrześniowym jarmarku w Cambridge. Zrozumienie jej bez dokładnej znajomości geometrji okazało się niemożliwe. To prawdopodobnie skłoniło go do kupienia angielskiego przekładu geometrji Euklidesa, stanowiącej zresztą przedmiot obowiązkowy dla słuchaczy uniwersytetu. Ścisłe i drobiazgowe dowodzenie twierdzeń, wydających się Newtonowi oczywistemi, zraziły go do tej książki. Uznał ją za „marną" (a trifling book); czyż można było tyle czasu poświęcać na dowodzenie prawd tak oczywistych? Ten ostry sąd o dziele wielkiego matematyka miał, oczywiście, źródło przedewszystkiem w umysłowem niewyrobieniu Newtona, w jego nieprzygotowaniu do studjów uniwersyteckich, odsłaniał jednak odrazu pewną cechę umysłowości, która wyciśnie piętno na wszystkich jego pracach, mających go rozsławić jako wielkiego matematyka. W wiele lat potem, w „Arithmetica universalis" (1707 r.) wyraźnie zaznaczy, że pomija „dowodzenie metod, z których czyniony jest użytek, wydają się one bowiem bardzo łatwe, dowodzenie zaś ich byłoby często bardzo długie". Uwzględnianie przedewszystkiem celu badania, przekonanie, że „przykłady są użyteczniejsze, niż przepisy", odegrało niewątpliwie pewną rolę w tem pierwszem zetknięciu się Newtona z dziełem Euklidesa.

Z większym o wiele zapałem wziął się do studjowania geometrji Kartezjusza. Był to do pewnego stopnia owoc zakazany. Niechęć do „nowej filozofji", przez długie jeszcze lata silna wśród sfer

uniwersyteckich w Cambridge, sprawiała, że w Kartezjuszu, jednym z najpotężniejszych jej przedstawicieli, widziano jakby herezjarchę, pisma zaś jego nietylko filozoficzne, lecz nawet matematyczne i fizyczne uważano za gorszące. „Geometrja" Descartes'a, mająca, według założenia autora, stanowić organiczne uzupełnienie „Rozprawy o metodzie dobrego powodowania swym rozumem i szukania prawdy w naukach" (Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la verité dans les sciences"), i treścią swą i formą stanowiła jaskrawe przeciwieństwo „Elementów" Euklidesa. Odrzucała ona starą, przez Euklidesa ściśle przestrzeganą zasadę odrębności metody badania geometrycznego; wbrew regule Arystotelesa, aby nigdy „nie stosować arytmetyki do rozwiązań zagadnień geometrycznych", Descartes stwierdzał, że „nie obawia się wprowadzać pojęć arytmetycznych do geometrji, aby uczynić wykład bardziej zrozumiałym". Jest to, według niego, całkowicie możliwe, „wszystkie [bowiem] zagadnienia geometryczne można doprowadzić do takiego wyrażenia, na którego mocy wystarczy znać dla ich konstrukcji długości pewnych linij". Te zaś długości, wyrażające się zawsze pewną liczbą, podlegają tym samym działaniom, co zwykłe wielkości algebraiczne i mogą być wyznaczone ze zwykłych algebraicznych równań. Nową tę metodę, będącą zawiązkiem geometrji analitycznej, Descartes wyłożył niezwykle zwięźle w pierwszej części swej niewielkiej książki. Był on bowiem, podobnie jak Newton, przeciwnikiem rozwlekłości. „[Tym, którzy] chcą iść za zamiarem podobnym mojemu, pisał w „Rozprawie o me-

todzie", starczy... zupełnie to, co już powiedziałem w tej rozprawie; jeżeli bowiem zdolni są zajść dalej ode mnie, z tem większą racją będą zdolni znaleźć sami wszystko to, co ja, jak sądzę, znalazłem". To też zrozumienie twierdzeń, zawartych w „Geometrji", której część druga była poświęcona klasyfikacji krzywych, trzecia zaś i ostatnia omawiała teorję równań algebraicznych, wymagało dużego wysiłku ze strony Newtona. Niejednokrotnie musiał, jak sam o tem później opowiadał, zawracać do stron już przeczytanych i według wszelkiego prawdopodobieństwa, sięgać zpowrotem do Euklidesa.

Nie tu jednak leżał główny powód ponownego zajęcia się „Elementami". Decydującą rolę odegrał niewątpliwie Izaak Barrow (1630 — 1677), wybitny matematyk i wykształcony fizyk, powołany w 1664 r. na pierwszą katedrę matematyki, jaka powstała w Cambridge. Z Barrowem Newton zetknął się prawdopodobnie jeszcze przed 1664 r., datą urzędowego rozpoczęcia przez Barrowa wykładów, których wysłuchanie obowiązywało wszystkich słuchaczów. Wykłady, które dotyczyły raczej filozoficznego uzasadnienia podstaw matematyki i które, jak się zdaje, niewiele dały Newtonowi, zacieśniły węzły między profesorem a uczniem. Barrow bowiem nie poprzestawał na samym wykładzie. Rozmowy, jakie prowadził ze słuchaczami, pytania, jakie mu zadawali, pozwoliły mu z masy bardzo przeciętnej młodzieży wyróżnić chłopca, którego niepospolite zdolności i równie niepospolite braki w wykształceniu musiały zwrócić uwagę Barrowa. Barrow zajął się gorliwie Newtonem. W długich, coraz poufniejszych

rozmowach potrafił przełamać jego wrodzoną podejrzliwość i nieufność i odkryć w tym zamknię-


202 EUCLIDIS Elementorum

1. *Hyp.* Si fieri poteſt, ſit D ipſarum AC, AB communis menſura. [a] ergò D metitur AC — AB (BC). [b] ergò AB ⊏⊐ BC, contra Hypoth.

a 3. ax. 10.
b 1. def. 10.
c 16. 10.

2. *Hyp.* Dic AB ⊏⊐ BC. [c] ergò AC ⊏⊐ AB, contra Hypoth.

Coroll.

Hinc etiam, ſi tota magnitudo ex duabus compoſita, incommenſurabilis ſit alteri ipſarum, eadem & reliquæ incommenſurabilis erit.

PROP. XVIII.

Si fuerint duæ rectæ lineæ inæquales AB, GK; *quartæ autem parti quadrati, quod ſit à minori* GK, *æquale parallelogrammum* ADB *ad majorem* AB *applicetur, deficiens figurâ quadratâ, & in partes* AD, DB *longitudine commenſurabiles ipſam dividat, major* AB *tanto plùs poterit quàm minor* GK, *quantum eſt quadratum rectæ lineæ* FD *ſibi longitudine commenſurabilis: Quòd ſi major* AB *tanto plus poſſit, quàm minor* GK, *quantum eſt quadratum rectæ lineæ* FD *ſibi longitudine commenſurabilis; quartæ autem parti quadrati, quod ſit à minori* GK, *æquale parallelogrammum* ADB *ad majorem* AB *applicetur, deficiens figurâ quadratâ, in partes* AD, DB *longitudine commenſurabiles ipſam dividet.*

a 10. 1.
b 28. 6.
c 8. 2.
d conſtr. & 4. 2.

[a] Biſeca GK in H; & [b] fac rectang. ADB = GHq: abſcinde AF = DB. Eſtque ABq [c] = 4 ADB [d] (4 GHq, vel GKq) + FDq. Jam primò

Ryc. 4. Stronica z „Elementów" Euklidesa z notatkami Newtona.

tym i milczącym chłopcu głęboką wrażliwość i szczególniejszą rzetelność. In primis probus — napisze o nim w niewiele lat potem Barrow. Od niego prawdopodobnie dostał Newton łaciński przekład Euklidesa, wydany przez Barrowa jeszcze w 1655 r. Egzemplarz ten, zachowany do dziś dnia, drobny szczątek bogatej bibljoteki Newtona, pozwala zdać sobie sprawę z pracy, wykonanej przez Newtona. Świadczą o niej liczne przypisy na marginesie, szczególniej obfite w księdze V, traktującej o proporcjonalności wielkości ciągłych (geometrycznych), w księdze VII, rozważającej proporcjonalność liczb, i w księdze X bodaj najtrudniejszej i najogólniejszej, rozpatrującej klasyfikacje wielkości niewymiernych. Księgom XI, XII i XIII, omawiającym zagadnienia stereometrji, Newton, zdaje się, najmniej czasu poświęcił.

Barrow stopniowo wciągał Newtona w krąg swych zainteresowań. Notatnik Newtona z tych czasów zawiera poza wyciągami z podręczników matematyki, jak np. Viety (1540 — 1603), uwagi, dotyczące zagadnień, z których wkrótce miał powstać rachunek nieskończonościowy, a któremi wówczas Barrow usilnie się zajmował. Wpływowi Barrowa można też, jak się zdaje, przypisać zwrócenie się Newtona do zagadnień optycznych. W notatniku swym zapisuje rozważania nad załamaniem się światła, przepisy, dotyczące szlifowania szkieł optycznych, badanie błędów soczewek i sposoby ich usunięcia.

Wytrwała praca nie odrazu jednak dała skutki widoczne. Jeszcze w 1664 r. władze uniwersyteckie, rozpatrując podanie Newtona o stypendjum, zwró-

ciły mu uwagę na niedostateczną znajomość geometrji. Potrzeba było czasu, skupienia, odosobnienia, aby mógł Newton nagromadzoną wiedzę po swojemu zużytkować.

Chwila ta nadeszła w 1665 r., pierwszym z trzech lat klęsk, jakie spadły na Anglję, lat morowej zarazy, olbrzymiego pożaru, który zniszczył znaczną część Londynu, i wreszcie haniebnej wojny z Holandją, kiedy zwycięska flota nieprzyjacielska wpływała bezkarnie na Tamizę i huk jej dział słychać było wyraźnie w stolicy. Położone na uboczu Cambridge jedną tylko z tych klęsk przeżyło bezpośrednio: zarazę. Zjawiła się ona w lecie 1665 r., jakby daleki odgłos „czarnej śmierci" (mors nigra), która o trzynaście lat wcześniej wyludniła Polskę Jana Kazimierza. Władze uniwersyteckie uciekły się do jedynego środka zaradczego, jaki posiadała ówczesna medycyna: rozesłały słuchaczów do domów, przerywając zajęcia uniwersyteckie. W ten sposób uniknięto powtórzenia straszliwego roku 1349, gdy w przeciągu czterech miesięcy z czterdziestu szkolarzy jednego tylko kolegjum umarło od zarazy szesnastu. Tym razem kroniki uniwersyteckie nie zanotowały zbyt wielkich strat od moru, który jednocześnie w Londynie spowodował w ciągu pół roku śmierć stu tysięcy ludzi.

Newton wyjechał do Woolsthorpe'u w początkach sierpnia 1665 r., przerywając na przeciąg blisko dwu lat normalne studja uniwersyteckie. W Cambridge zjawiał się rzadko; wiemy, że był tam w zimie 1665 r. i na wiosnę 1666 r. Utrzymywanie stałej łączności z uniwersytetem było niemożliwe, choćby ze względu na osławiony stan

dróg angielskich, istnych narzędzi tortur dla podróżnych, grzęznących często, mimo wysiłków sześciu lub ośmiu koni, zaprzężonych do bryki, w nigdy nie wysychającem błocie. Wyjazdy do Cambridge miały, prawdopodobnie, na celu załatwienie formalności, związanych z otrzymaniem (1665 r.) stopnia bakałarza (bachelor of arts), lub też zaopatrzenie się w książki. O nich bowiem w swem odludziu, na głuchej prowincji nie mógł marzyć. Nawet w miastach takich, jak Birmingham, którego wyroby stalowe zaczynały już być znane w całej Anglji, nie było wcale księgarni. Książki sprzedawano na targach i jarmarkach. Rzecz prosta, że w małym Granthamie takie sposobności zdarzały się rzadko. Jedynem więc źródłem było Cambridge i własna niezbyt jeszcze zasobna bibljoteka. Tem więcej czasu pozostawało na rozmyślanie, na opracowywanie tych zagadnień, jakie mu lata poprzedniej nauki nasunęły. W samotnych przechadzkach po malowniczej okolicy Woolsthorpe'u, w ciszy pokoju na pierwszem piętrze dojrzewały stopniowo wielkie teorje ciążenia powszechnego, rachunku fluksyj, powstawania barw.

ROZDZIAŁ DRUGI.

Początki teorji grawitacji.

Przejawy i zjawiska przyrody są tak różnorodne, tak trudno przeniknąć ich przyczyny, że aby poznać przyrodę i zmusić ją do odsłonięcia swych praw, konieczne jest zjednoczenie wysiłków i zdolności wielkiej ilości ludzi.

Laplace.

„Usunąwszy się w 1666 r. z powodu dżumy na wieś, wpobliżu Cambridge, przechadzał się pewnego dnia Newton po swoim ogrodzie; widząc owoce, spadające z drzewa, pogrążył się w głębokie rozmyślania nad ciężkością, której przyczyny tak długo napróżno poszukiwali filozofowie i w której zwykły człowiek nawet nie podejrzewa tajemnicy. Powiedział sobie: z jakiejkolwiek wysokości na naszej półkuli spadałyby te ciała, spadek ich zachodziłby na pewno w postępie, odkrytym przez Galileusza, i przestrzenie, przez nie przebieżone, byłyby do siebie w stosunku takim, jak kwadraty czasów. Ta własność, która powoduje zstępowanie ciał ciężkich, pozostaje tą samą, bez żadnego zmniejszenia dostrzegalnego, na największej głębokości, na jakiej znaleźlibyśmy się pod ziemią i na najwyższej górze. Dlaczego własność ta nie miałaby sięgać aż do księżyca? A jeżeli jest prawdą,

że przenika aż tam, czy to nie jest wskazówką, że własność ta utrzymuje księżyc na jego orbicie i wyznacza jego ruch? Ale jeżeli księżyc podlega tej zasadzie... czyż nie jest rzeczą bardzo rozsądną wierzyć, że i inne planety jej podlegają... Oto, jak rozumował Newton".

Nie mamy żadnego powodu zaprzeczać wiarygodności tego opowiadania, które Voltaire, jak to wyraźnie zaznacza, słyszał podczas swego pobytu w Londynie w 1726 r. od p. Conduitt, siostrzenicy Newtona i towarzyszki ostatnich lat jego życia; co najwyżej moglibyśmy mieć pewne wątpliwości, czy istotnie rozmyślania Newtona zostały odtworzone z należytą ścisłością. W chwili bowiem, gdy spadające owoce uprzytomniły Newtonowi tajemniczy związek, jaki zachodzi pomiędzy tem zjawiskiem a prawidłowym, niezmiennym ruchem planet dokoła słońca, istniała już niejedna próba wykrycia istoty tego związku i ujęcia go w postać prawa fizycznego. Newton o próbach tych wiedział i zasługi zwrócenia na ten związek uwagi nigdy sobie nie przypisywał. Możnaby nawet powiedzieć, nie bez pewnych pozorów słuszności, że możliwość istnienia takiego związku wynikała pośrednio z teorji Kopernika. Przez pozbawienie ziemi wyróżnionego we wszechświecie stanowiska i upodobnienie jej do innych planet obalała ona arystotelesowskie odróżnianie praw, rządzących zjawiskami w świecie podksiężycowym (ūranos) od praw, którym podlegają zjawiska wszechświata (kosmos). Jedność praw we wszechświecie, którą ona stwierdzała, znajdowała potwierdzenie nietylko w podobieństwie ruchu ziemi do ruchu planet pozostałych, lecz rów-

nież w ruchu księżyca, będącym jakby zmniejszonem odtworzeniem ruchu ziemi dookoła słońca. Stąd zaś można było wnioskować, że i zjawiska ciężkości, obserwowane przez nas na ziemi, nie mogą być czemś wyjątkowem. To też Kopernik platoński pogląd na istotę ciężkości przenosi na wszystkie ciała wszechświata. „Nazywam ciężkością (gravitas) pewną dążność przyrodzoną, właściwą wszystkim cząściom materji, którą należy również przypisać słońcu, księżycowi i pozostałym planetom". Na tem jednak stwierdzeniu poprzestaje; związku między tem zjawiskiem a ruchem planet nawet nie przewiduje, ale przez samo wprowadzenie zasady jedności praw dopuszcza jego możliwość. Na tej właśnie zasadzie oprą się twórcy dwu wielkich teoryj budowy wszechświata: Kepler i Descartes, których dzieła były już wtedy, w czasie pobytu w Woolsthorpe, dobrze znane Newtonowi.

Dla Keplera (1571 — 1630) ciężkość, a raczej warunkujące ją własności materji, były źródłem i uzasadnieniem harmonji w budowie wszechświata, której istnienie uważał, zgodnie z Platonem, za bezsporne. Bez ciężkości była ona nie do pomyślenia, platoński bowiem podział wszystkich ruchów na bezładne (en ataksej) ruchy ciał ziemskich i na „zachodzące w niezmiennym porządku" (en taksej), a więc z samej istoty swojej harmonijne, ruchy „istot utworzonych z ognia", nie mógł się ostać wobec teorji Kopernika. I w jednych ruchach i w drugich Kepler widział wyraz tych samych praw, tak prostych, jak twierdzenia geometrji. Geometrja bowiem, jak nauczał Plato, jest „wiedzą

o tem, co wieczne". Dlatego może jest ona nam bezpośrednio dostępna: „Któż zaprzeczy, że przyroda samem natchnieniem, nawet bez rozumowania, uczy geometrji", pisał Kepler w „Nowej stereometrji". Należy tylko umieć właściwie ją stosować do badania zjawisk niebieskich. „Jedynie przez dotykanie wszystkich ścian, pisał o swych badaniach, trafiłem wśród mroków niewiedzy do jaśniejącej bramy prawdy". Już pierwsza próba zastosowania geometrji do wyznaczania torów, po jakich poruszają się planety, dała wyniki niespodziewane. Okazało się, że „układ planetarny jest w prostym związku, o ile chodzi o liczbę planet i ich odległość, z bryłami prawidłowemi, któremi zajmowali się starożytni. Brył tych jest pięć". Są to te same bryły umiarowe, które, według Platona, wyrażały istotę żywiołów. Opiszmy na kuli o promieniu, równym promieniowi orbity Merkurego, ośmiościan umiarowy; kula, na nim opisana, będzie miała promień taki, jak orbita Wenery; opiszmy dalej na tej kuli dwudziestościan umiarowy, a na nim nową kulę, promieniem jej będzie promień orbity ziemi; podobna konstrukcja da nam przy użyciu dwunastościanu umiarowego promień orbity Marsa, jeszcze dalsza, przy której posłużymy się czworościanem, pozwoli nam otrzymać promień orbity Jowisza, wreszcie użycie sześcianu i opisanie na nim kuli doprowadzi do orbity Saturna.

Ale ta „kosmograficzna tajemnica zadziwiającego stosunku ciał niebieskich", jak ją określał w tytule pracy, poświęconej temu zagadnieniu, dwudziestopięcioletni uczony, nawet przy ówczesnym

stanie wiedzy astronomicznej, dla której układ planetarny kończył się na Saturnie, nie mogła być uważana za dokładny obraz rzeczywistości. Przedewszystkiem, otrzymane na tej drodze wartości promieni orbit niezupełnie zgadzały się z danemi Kopernika, co jednak mogło być położone na karb nieuniknionych błędów obserwacyj; gorszą jednak było rzeczą, że istotne ruchy planet w żaden sposób nie dały się pogodzić z założeniem kołowego kształtu ich drogi. Już Kopernik zmuszony był dla wyjaśnienia pewnych zauważonych odstępstw nawrócić częściowo do ptolomeuszowskich epicyklów i zastąpić prosty geometrycznie obraz złożoną i sztuczną konstrukcją. To jednak z gruntu podważało podstawy rozważań Keplera. Istotą bowiem harmonji jest doskonałość, bez niej harmonji niema. Kepler wobec tego podejmuje wielki zamiar wyczytania z obserwacyj astronomicznych istotnego kształtu torów ciał niebieskich. Za podstawę służy mu olbrzymi materjał, zebrany przez Tychona Brahe (1546 — 1601). W danych, dotyczących planety Marsa, szuka potwierdzenia zuchwałej hipotezy, sprzecznej z wielowiekową tradycją, hipotezy, której nikt przed nim nigdy nie postawił. Hipoteza ta zakładała, iż planety poruszają się nie po kołach, lecz po elipsach, w których ognisku jest słońce, i że pola, opisane w ciągu równych czasów przez t. zw. promienie wodzące, łączące planetę w różnych jej położeniach na torze ze słońcem, są sobie równe. W dwieście prawie lat później o tej jego pracy, która wprowadziła do nauki t. zw. pierwsze i drugie prawo Keplera, napisze francuski astronom Bailly: „Kepler zdobył się na wysiłek nie-

wiarygodny. Logarytmy nie były jeszcze wynalezione; rachunek więc nie był tak łatwy, jakim jest dzisiaj. Każdy z wykonanych przez niego rachunków zajmuje 10 stronic in folio; powtarzał je 70 razy, 70 rachunków czyni przeto 700 stronic. Ci, co się zajmują rachunkami, wiedzą, ile się robi błędów, ile razy trzeba na nowo zaczynać i jakiego czasu wymaga 700 stronic rachunku. Ten człowiek był zadziwiający, jego genjusz nie cofał się przed ciężkiemi i drobiazgowemi badaniami, i badania te nie zużywały jego genjuszu".

Opierając się na tych prawach, gruntujących i pogłębiających astronomję Kopernika, można już kusić się o wyjaśnienie budowy wszechświata, które podaje w „Nowej astronomji czyli fizyce niebieskiej" (1609).

Dla Keplera, podobnie jak dla Kopernika, przyczyną ciężkości są własności materji, są one jednak u niego o wiele konkretniejsze, uważa je za podobne do tych, które powodują przyciąganie się magnesów. Gdyby ziemia nie była okrągła, ciała spadałyby nie w kierunku jej środka, lecz w kierunku różnych punktów jej wnętrza. Dwa kamienie, umieszczone w miejscu, w którem nie działałyby na nie żadne inne ciała, spotkałyby się tak, jak dwa magnesy w miejscu pośredniem, przyczem drogi, przebyte przez każdy z nich, byłyby w stosunku odwrotnym do mas (moles). Gdyby ziemi i księżyca nie utrzymywała w ich obrocie jakaś siła żyjąca (vis animalis), złączyłyby się ze sobą, przyczem księżyc przebiegłby 53 części, ziemia zaś jedną część wzajemnej odległości, o ile gęstości ich byłyby równe. Istnienia siły przyciągającej, z jaką

księżyc działa na ziemię, dowodzą zjawiska, zachodzące na morzu. Morze odpłynęłoby całkowicie na księżyc, gdyby nie było przytrzymywane przez ziemię. Ponieważ jednak ziemia je przytrzymuje, tworzy się góra na miejscu, nad którem księżyc stoi pionowo; góra ta powoduje przypływ morza. Żadna materja, wbrew temu, co nauczał Arystoteles, nie jest sama przez się lekka; jeżeli jakie ciała oddalają się od ziemi, powodem tego jest jedynie wypieranie ich przez ciała mniej rzadkie. „Nazywam rzadkiem to, co w danej objętości zawiera mniej materji". Podobnie, jak ciała ziemskie poruszane są przez ziemię, planety poruszane są przez słońce, którego rola w kosmologji Keplera jest jakby echem pytagorejskich pojęć o „ogniu środkowym" — straży Zeusa (Iovis custos — Dios fylakē). Prawa ciężkości, według których ciało mniejsze zbliża się do ciała większego, obowiązują i w tym przypadku. Dlatego też planety poruszają się prędzej przy zbliżaniu się do słońca, wolniej — przy oddalaniu.

Z tego zadziwiająco trafnego ujęcia zjawisk ciążenia nie mogła jednak powstać ogólna teorja grawitacji. Wymagała ona bowiem bliższego zbadania tego zjawiska, które Kepler wziął za podstawę swych rozważań — zjawiska spadania ciał. Narzędzie zaś, którem Kepler mógł się przy tem badaniu posługiwać, dynamika Arystotelesa była do tego celu zupełnie nieprzydatna. To też mimo przenikliwej analizy i niestrudzonej wytrwałości Keplera wszystkie jego próby znalezienia „przyczyny mechanicznej" odkrytych praw ruchu skończyły się niepowodzeniem. Opisowi tych daremnych wysił-

ków poświęcona jest znaczna część „Nowej astronomji", rozwinięciu zaś i uzasadnieniu tych hipotez, które Kepler wtedy postawił, wydane w 11 lat później dwutomowe dzieło „Streszczenie teorji kopernikańskiej". Powrót po tak długiej przerwie do tego samego zagadnienia był spowodowany odkryciem 15 maja 1618 roku prawa, wiążącego promienie orbit planetarnych z okresami obrotu planet dookoła osi. Prawo to było dla Keplera nowym

w. 9 od góry: jest dookoła osi, powinno być
dookoła słońca.

dał już w „Nowej astronomji", w „Streszczeniu" dorzucił dwa dalsze: pierwszy polega na tem, że słońce jest największem i najdoskonalszem w swej okrągłości ciałem niebieskiem i że jest ono źródłem ciepła i światła; drugi — że słońce obraca się dookoła osi w tym samym kierunku, w jakim krążą

---

[1]) Er występuje w „Republice" Platona; wędrówki jego duszy dają Platonowi powód do wyłożenia poglądów na budowę wszechświata. Słowacki wprowadza go w „Królu Duchu", jako Hera Armeńczyka.

[2]) Planety Saturn i Jowisz odpowiadały basowi, Mars — tenorowi, ziemia i Wenus — altowi, Merkury — falsetowi.

księżyc działa na ziemię, dowodzą zjawiska, zachodzące na morzu. Morze odpłynęłoby całkowicie na księżyc, gdyby nie było przytrzymywane przez ziemię. Ponieważ jednak ziemia je przytrzymuje, tworzy się góra na miejscu, nad którem księżyc stoi pionowo; góra ta powoduje przypływ morza. Żadna materja, wbrew temu, co nauczał Arystoteles, nie jest sama przez się lekka; jeżeli jakie [illegible] od ziemi, powodem tego jest je-

— przy oddalaniu.

Z tego zadziwiająco trafnego ujęcia zjawisk ciążenia nie mogła jednak powstać ogólna teorja grawitacji. Wymagała ona bowiem bliższego zbadania tego zjawiska, które Kepler wziął za podstawę swych rozważań — zjawiska spadania ciał. Narzędzie zaś, którem Kepler mógł się przy tem badaniu posługiwać, dynamika Arystotelesa była do tego celu zupełnie nieprzydatna. To też mimo przenikliwej analizy i niestrudzonej wytrwałości Keplera wszystkie jego próby znalezienia „przyczyny mechanicznej" odkrytych praw ruchu skończyły się niepowodzeniem. Opisowi tych daremnych wysił-

ków poświęcona jest znaczna część „Nowej astronomji", rozwinięciu zaś i uzasadnieniu tych hipotez, które Kepler wtedy postawił, wydane w 11 lat później dwutomowe dzieło „Streszczenie teorji kopernikańskiej". Powrót po tak długiej przerwie do tego samego zagadnienia był spowodowany odkryciem 15 maja 1618 roku prawa, wiążącego promienie orbit planetarnych z okresami obrotu planet dookoła osi. Prawo to było dla Keplera nowym dowodem harmonji wszechświata. Jak platoński Er, syn Armenjosa[1]), słyszał tony wydawane przez każdą z planet, tony, składające się na muzykę wszechświata[2]). Widział, być może, tak jak widziała dusza Era, „wrzeciono" wszechświata, trzymane przez Konieczność (Anankē). „Na każdym z pierścieni [wrzeciona] siedziała syrena i porywana przez obrót pierścienia śpiewała jedną tylko nutę, a ze śpiewu tych ośmiu syren akord tworzył harmonję".

Źródłem tej harmonji jest siła, wychodząca ze słońca. Dowody na poparcie tego twierdzenia podał już w „Nowej astronomji", w „Streszczeniu" dorzucił dwa dalsze: pierwszy polega na tem, że słońce jest największem i najdoskonalszem w swej okrągłości ciałem niebieskiem i że jest ono źródłem ciepła i światła; drugi — że słońce obraca się dokoła osi w tym samym kierunku, w jakim krążą

---

[1]) Er występuje w „Republice" Platona; wędrówki jego duszy dają Platonowi powód do wyłożenia poglądów na budowę wszechświata. Słowacki wprowadza go w „Królu Duchu", jako Hera Armeńczyka.

[2]) Planety Saturn i Jowisz odpowiadały basowi, Mars — tenorowi, ziemia i Wenus — altowi, Merkury — falsetowi.

dookoła niego planety, i obrotu całkowitego dopełnia w najkrótszym ze wszystkich obrotów czasie. Ten obrót słońca, podtrzymywany przez pewien pierwiastek duchowy, pozbawiony jednak wyższych cech duszy, nie animus, lecz anima (nie dusza lecz dech), powoduje ruch planet, a więc to zjawisko, które dla Keplera było tajemnicą największą. Arystoteles bowiem, którego wpływ na Keplera w tem miejscu najbardziej jest widoczny, stwierdził w swojej „Fizyce", że „wszystko, co jest w ruchu, jest z konieczności przez coś poruszane. Jeżeli więc nie ma w samym sobie zasady ruchu, jest oczywiście poruszane przez coś innego". Kepler planetom „zasady ruchu" odmawiał, przyjęcie jej bowiem, uniezależniając wzajemnie ich ruchy, obalałoby wszystkie jego prawa. Stąd jednak wynikała konieczność istnienia siły, podtrzymującej ich ruch. Siła ta, jak o tem już wyżej było wspomniane, posiada cechy siły magnetycznej, jest przeto czemś innem, niż światło, wysyłane przez słońce. Światło działa jedynie na powierzchnię ciał; ciała nieprzeźroczyste zatrzymują światło, które nie może tego oporu przezwyciężyć. Inaczej siła słoneczna: działa ona na całe ciało, niema dla niej ciała, przez które przejśćby nie mogła, bezwładność, choćby największa, nie może jej całkowicie przezwyciężyć. Co więcej, działać może w ciemności lub przy bardzo niewielkiem oświetleniu — dowodem księżyc, przyciągany przez słabo świecącą ziemię. Istnieje jednak pewne podobieństwo między nią a światłem: tak, jak światło rozchodzi się natychmiastowo, jak światło pozbawiona jest kształtu, jak światło nie powoduje zmniejszania się masy ciała, z którego uchodzi.

„Nowa astronomja" daje jeszcze pełniejszy obraz tej siły. Jest ona podobna jakby do materjalnych macek, wychodzących ze słońca i kończących się na planetach. Ale w przeciwieństwie do światła, które słońce wysyła równomiernie we wszystkie strony, siła przyciągająca skupiona jest w jednej płaszczyźnie. Jest ona bowiem związana z jednej strony z ruchem obrotowym cząstek na powierzchni słońca dookoła pewnej stałej osi, a więc równolegle do pewnej oznaczonej płaszczyzny, z drugiej zaś z planetami, których tory leżą w płaszczyznach, tworzących naogół niewielkie kąty z płaszczyzną prostopadłą do osi obrotu słońca. Wobec tego działanie siły w danym punkcie toru zależeć będzie nie od wielkości powierzchni kuli, opisanej promieniem równym odległości planety od słońca, lecz od długości łuku koła, opisanego tym promieniem. Stąd wynika, że „siła magnetyczna" zmienia się nie tak, jak natężenie światła, odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości, lecz odwrotnie proporcjonalnie do pierwszej potęgi odległości. To zaś, że mimo działania tej siły planety na słońce nie spadają, tylko krążą koło niego w niezmiennej odległości, może również w magnetyzmie znaleźć dostateczne wyjaśnienie. Wystarczy bowiem założyć, że jeden z biegunów planety wykazuje dążenie ku słońcu (appetenti), drugi zaś oddalanie od niego (fuga). Rachunek, na tej podstawie przeprowadzony, nie dał żadnych wyraźnych wyników, nie był jednak całkowicie bezpłodny: umożliwił Keplerowi zastosowanie nowego przez niego odkrytego rachunku[1]).

---

[1]) Rozdział trzeci.

Od tej metody stopniowych przybliżeń, hipotez, nie wynikających z jednej ogólnej zasady, a usprawiedliwionych jedynie doraźnemi potrzebami, metoda Descartes'a (1596 — 1650) była bardzo daleka. Zadaniem teorji naukowej, zadaniem każdego badania naukowego było według Descartes'a ustalenie ogólnych praw, z których na drodze rozumowania logicznego możnaby było wyprowadzić objaśnienie wszystkich zjawisk, z jakiemi spotykamy się w rzeczywistości. „Po wyszukaniu zasad rzeczy materjalnych, których wymagać będzie nie ułuda zmysłów, lecz światło rozumu, tak, że nie będziemy mogli wątpić o ich prawdziwości, trzeba będzie przystąpić do badania, w jaki sposób, na nich tylko się opierając, moglibyśmy objaśnić wszystkie zjawiska przyrody". Dążeniem bowiem naszem powinno być „wyprowadzenie uzasadnienia skutków z przyczyn, nie zaś przyczyn ze skutków". Zagadnienie ciężkości było drobnym jedynie szczegółem wielkiego obrazu przyrody, jednem z wielu potwierdzeń tych praw podstawowych, które odtworzenie tego obrazu umożliwiły. Wykład tych praw podstawowych „zasad rzeczy" i konsekwentne wyciągnięcie z nich wszystkich wniosków, zawiera jedyne w swoim rodzaju dzieło „Zasady filozofji" (Principia philosophiae), wydane po raz pierwszy w Amsterdamie w 1644 r.

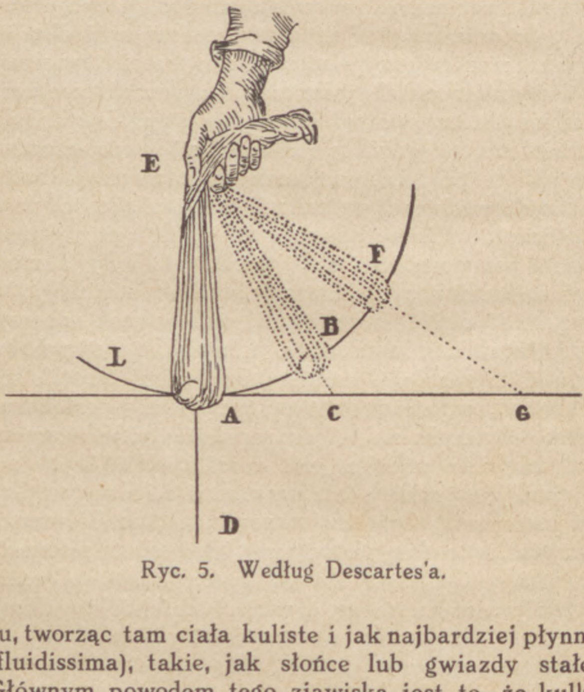
Rozpoczyna je rozważenie „zasad poznawania ludzkiego", które zaraz na pierwszych stronicach doprowadza do wniosku, że „...stwierdzenie — myślę, więc jestem — jest ze wszystkich pierwsze i najważniejsze". Rozwinięcie tego podstawowego założenia pozwala Descartes'owi ustalić przepisy, ja-

kich należy przestrzegać przy poszukiwaniu prawdy rzeczy poznawalnych". Opierając się na nich, można wyjaśnić zasady, jakim podlegają „rzeczy materjalne", a przedewszystkiem istotę materji albo „ogólnie ciała widzialnego". Jakgdyby rozwijając myśl, którą Plato wyraził w „Tymeuszu" (Timajos), Descartes widzi istotę ciał nie w tem, że mogą one być „twarde lub ciężkie lub zabarwione lub w jakikolwiek sposób uderzające nasze zmysły, lecz raczej w tem", że są one rozciągłe, że mają szerokość, długość, wysokość. Możemy bowiem wyobrazić sobie ciało materjalne, pozbawione i twardości i ciężaru i barwy i tych wszystkich własności, które w nich stwierdzamy zmysłami, nie możemy jednak wyobrazić sobie ciała, nie posiadającego rozciągłości. „Prawdziwa [przeto] istota ciał polega na rozciągłości". Zgęszczenie lub rozrzedzenie ciał, wytwarzanie próżni sprowadza się w rzeczywistości do tego, że jakieś inne ciało uchodzi lub przedostaje się do „kanałów lub przerw" między częściami ciała tak, jak to widzimy w gąbce, gdy nabiera wody lub też gdy woda z niej przy zgniataniu wypływa. Niezawsze to wypływające lub uchodzące ciało dostępne jest naszym zmysłom, „niema jednak żadnego powodu, któryby nas zmuszał do wierzenia, że wszystkie istniejące ciała mają działać na nasze zmysły". Z tego zatarcia różnicy między materją i rozciągłością wynika, że „świat, to znaczy powszechność substancji cielesnej nie posiada żadnych granic swej rozciągłości. Jakiekolwiek bowiem postawilibyśmy jej granice, zawsze możemy sobie wyobrazić poza niemi „inne przestrzenie, nieograniczenie rozciągłe". Wynika stąd również, że materja

niebios nie może być inną od materji ziemi i „wszystkie jej odmiany lub różnorodność jej kształtów zależą od ruchu". Ruch zaś jest „działaniem, dzięki któremu dane ciało przenosi się z jednego miejsca na drugie". Posiada on „pewną oznaczoną ilość, która, jak to łatwo pojmujemy, może być zawsze jedna i ta sama w całej powszechności rzeczy, jakkolwiek zmieniałaby się w poszczególnych jej częściach. To znaczy, gdy jedna część materji porusza się dwa razy prędzej, niż inna, i ta inna jest dwa razy większa od poprzedniej, mniemamy, że tyle ruchu jest w mniejszej, co w większej". Dowód prawdziwości tej zasady zachowania ilości ruchu Descartes widzi w niezmienności Boga, „który na początku stworzył materję pospołu z ruchem i spoczynkiem". Zasada zachowania ilości ruchu jest jakby przypadkiem szczególnym zasady ogólniejszej: „jakakolwiek rzecz, o ile jest prosta i niepodzielna, pozostaje... zawsze w tym samym stanie i nigdy się nie zmienia, chyba wskutek przyczyn zewnętrznych". Stąd wypływają wnioski dalsze: „to, co się porusza,... zawsze się będzie poruszało", i następnie: „każdy ruch sam z siebie jest prosty, i dla tej przyczyny to, co się porusza po kole, zawsze dąży do tego, aby oddalić się od środka koła, jakie opisuje". Na tych oto opierając się zasadach, które podobnie jak u Platona, sprowadzają badania zjawisk fizycznych do rozważania „podziałów, kształtów i ruchów", Descartes przystępuje do szczegółowego wyjaśnienia zjawisk przyrody. Na pierwszem miejscu kładzie hipotezę powstania naszego układu planetarnego i gwiazd stałych.

Wszystkie ciała tego „świata widomego" (mundus adspectabilis) składają się z trzech żywiołów (elementa). „Słońce i gwiazdy stałe z pierwszego, niebiosa z drugiego i ziemia z planetami i kometami z trzeciego". Słuszności takiego założenia dowodzi fakt, że „słońce i gwiazdy stałe wysyłają... światło, niebiosa je przesyłają, ziemia, planety i komety je odrzucają"; jest przeto rzeczą naturalną tę trojaką różnicę przypisać istnieniu trzech żywiołów. Żywioły nie powstały jednocześnie. Początkowo cała materja, która stanowi świat nas otaczający, była podzielona na jednakowe miernej wielkości cząstki. Cząstki te poruszały się ruchem kołowym, dookoła pewnych punktów, wytwarzając w ten sposób wiry (vortices). Wirów powstało tyle, ile jest gwiazd (astra) we wszechświecie. Cząstki te były kształtów najrozmaitszych, inaczej bowiem nie mogłyby wypełniać ciągłej przestrzeni, ruch jednak wirowy, w którym się znajdowały, sprawiał, że stopniowo cząstki te pozbywały się pod działaniem cząstek sąsiednich „wszystkich kątów" i przybierały postać kulistą. Powstałe na tej drodze „strużyny" (ramentia), o wiele mniejsze niż cząstki, od których się oderwały, wypełniły całą przestrzeń między cząstkami kulistemi. One też stanowią to, co Descartes nazywa „żywiołem pierwszym" (elementum primum), cząstki zaś kuliste tworzą żywioł drugi. Cząstki żywiołu pierwszego są o wiele podzielniejsze i prędzej się poruszają, niż cząstki żywiołu drugiego, które poruszając się wzdłuż dróg „prostych i otwartych", usuwają cząstki żywiołu pierwszego wzdłuż dróg „krzywych i wąskich". A że to wpływa na prędkość, tego dowodem proste doświadczenie z po-

wietrzem, uchodzącem z miecha. Nawet wtedy, gdy miech jest ściskany powoli, prędkość uchodzącego powietrza jest bardzo znaczna, otwór bowiem, przez który powietrze uchodzi, jest bardzo wąski. Cząstki żywiołu pierwszego spływają do środka wi-



Ryc. 5. Według Descartes'a.

ru, tworząc tam ciała kuliste i jak najbardziej płynne (fluidissima), takie, jak słońce lub gwiazdy stałe. Głównym powodem tego zjawiska jest to, że kulki (globuli) żywiołu drugiego „usiłują oddalić się" (recedere conantur) od środka wiru.

„Takie jest bowiem prawo natury, że wszystkie ciała, które są pędzone po kole, oddalają się od środka swego ruchu". Powiedzenie, że kulki te „usiłują oddalić się", nie oznacza bynajmniej, że się im przypisuje „jakąkolwiek myśl, z którejby wypływało to usiłowanie (conatus)". Właściwe znaczenie tych słów najlepiej wyjaśni przykład. „Kamień A, w procy EA, obracającej się dokoła środka E, dąży wprawdzie od A do B, jeżeli uwzględnimy wszystkie siły, jakie składają się na wyznaczenie jego ruchu, gdyż istotnie jest on tam przeniesiony. Jeżeli jednak zwrócimy uwagę tylko na tę siłę ruchu, która jest w nim samym, powiemy, że wtedy, gdy jest w punkcie A, dąży ku C zgodnie z wyżej wyłożonem prawem ruchu: to znaczy zakładamy, że linja AC jest prostą, styczną do koła w punkcie A. Jeżeli więc kamień opuści procę w tym momencie czasu, gdy idąc z L, dochodzi do punktu A, istotnie przejdzie od A ku C, nie zaś ku B, i jakkolwiek proca uskutecznieniu tego przeszkadza, nie przeszkadza jednak usiłowaniu". Usiłowanie istnieje tak długo, jak długo trwa ruch kołowy, i jest tem większe, im jest on szybszy. „Im szybciej bowiem obraca się kamień w procy, tem bardziej naciąga się lina, to zaś napięcie, wywołane jedynie przez siłę, z którą kamień usiłuje oddalić się od środka swego ruchu, wykazuje nam siły tej ilość". Tu leży również wyjaśnienie kształtu kulistego gwiazd i słońca.

Oprócz cząstek dwu pierwszych żywiołów powstają stopniowo cząstki żywiołu trzeciego. Są one również „strużynami", mniej jednak rozdrobnionemi; poruszają się one z prędkością niewielką, a to dlatego, że „nie mogą nie mieć postaci bardzo kań-

ciastych i niezdolnych do ruchu". One też najłatwiej łączą się w niewielkie masy (exiguas massas), doszedłszy zaś do powierzchni planety lub gwiazdy, mogą niekiedy utworzyć „bardzo wielkie masy" (moles permagnas), które wtedy są znanemi z obserwacyj powierzchni słońca plamami (maculae). Z chwilą, gdy ciało niebieskie będzie zbiorowiskiem wielu plam, stanie się nieprzezroczystem i twardem i wir jego zostanie wcześniej czy później pochłonięty przez wiry sąsiednie. Wir naogół nie składa się z cząstek żywiołu drugiego jednakowej wielkości; cząstki większe są bardziej oddalone od jego osi, jak to wynika z „usiłowania oddalania się", które u cząstek większych ma „więcej siły" (plus virium), niż u małych. Poczynając jednak od pewnej odległości, cząstki stają się równe; prędkość ich jednak nie wszędzie jest jednakowa, „przestrzeń bowiem, w której [cząstki] pędzone są po kole, jakgdyby w wirze, nie jest dokładnie okrągła". Powstają więc tedy w wirze części węższe i szersze; w węższych prędkość jest większa i „conatus recedendi" też większy. To tłumaczy pochłanianie jednych wirów przez drugie. Ta „budowa", o ile się tak można wyrazić, wiru pozwala rozróżnić dwa przypadki w dalszych losach globu, który zostanie weń wciągnięty. „Gdy kula, zstępująca do tego wiru, jest o tyle stała (solidus), że zanim dojdzie do granicy, w której części wiru poruszają się najwolniej, nabędzie poruszania się (agitatio) równego poruszaniu się tych części, między któremi się toczy, nie zejdzie niżej, lecz z tego wiru przejdzie do innego, i jest kometą. Jeżeli jednak mniej ma stałości i wskutek tego zstąpi poniżej tamtej granicy,

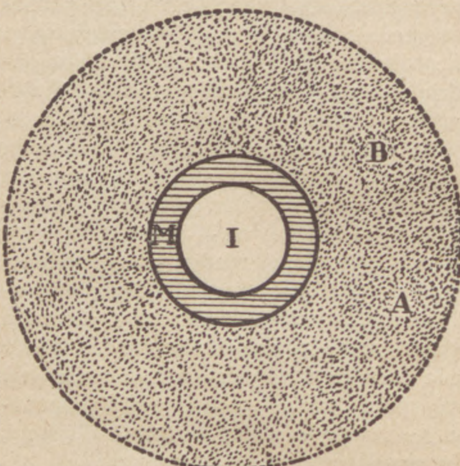
to następnie, pozostając zawsze w pewnej odległości od gwiazdy, która zajmuje środek danego wiru, obraca się dookoła siebie i jest planetą". „Przez stałość (soliditas) rozumiem tutaj ilość materji trzeciego żywiołu, z której składają się plamy, pokrywające tę gwiazdę, w porównaniu z jej masą (moles) i powierzchnią".

Obraz przeto powstania naszego układu planetarnego można przedstawić w sposób następujący. Przestrzeń, jaką obecnie układ ten zajmuje, była początkowo podzielona na czternaście lub więcej wirów. Gwiazdy, znajdujące się w ich środkach, stopniowo pokrywały się plamami. Każdy z trzech wirów większych to znaczy wir słońca, Jowisza i Saturna wchłonął wiry sąsiednie: Jowisz cztery wiry swoich księżyców, Saturn — dwa wiry planet, krążących dookoła niego, słońce — wiry Merkurego, Wenery, ziemi z księżycem i Marsa; wreszcie „Jowisz i Saturn, razem z mniejszemi, do nich dołączonemi gwiazdami, spłynęły do tego samego słońca, znacznie od nich większego, z chwilą gdy ich wiry zostały pochłonięte; gwiazdy zaś pozostałych wirów, o ile ich było w tej przestrzeni więcej, niż czternaście, zamieniły się w komety".

Wyjaśniony jest przeto nietylko ruch planet, ale również i powstanie ich z jedynej pierwotnej substancji, wypełniającej, a raczej może, stanowiącej wszechświat. Dla objaśnienia zjawisk ziemskich należy tylko zastosować umiejętnie te same założenia, które służyły do wyjaśnienia zjawisk kosmicznych, „nie wystarcza bowiem wyszukiwać takich przyczyn, któreby wyjaśniały to, co zdaleka widzimy na niebie, lecz z tych samych również przyczyn

musimy wyprowadzić to wszystko, na co patrzymy na ziemi zbliska". Takiem oto zastosowaniem zajmuje się część czwarta „Zasad filozofji", zatytułowana „O ziemi".

Z bardzo wielu zagadnień poruszonych w tej części wyjaśnienie zjawisk ciężkości było bodaj rzeczą najprostszą i najłatwiejszą, bezpośrednio prawie wynikającą z tego przebiegu powstawania ciał niebieskich, jaki Descartes opisał w księdze poprzedniej. Powierzchnia ziemi stopniowo pokrywała się nieprzezroczystemi plamami, utworzonemi z cząstek żywiołu trzeciego. Te z nich, które rozproszyły się „po sąsiedniem niebie, utworzyły tam z biegiem czasu wielką masę (molem) powietrza czy eteru; następnie zaś, gdy eter ten stał się bardzo wielki, gęstsze plamy, powstałe dookoła ziemi, pokryły ją całkowicie i zaciemniły". Na tem podłożu, które oddzieliło wewnętrzną część ziemi, wypełnioną cząst-



Ryc. 6. Budowa ziemi według Descartes'a.

kami żywiołu pierwszego, utworzyła się trzecia warstwa, jedynie dostępna naszym zmysłom, do tamtych dwu bowiem „nikt nigdy żywy nie dotarł". Najbardziej zewnętrzną część ziemi „z której mogły powstać wszystkie ciała, jakie tu koło nas się znajdują", możemy sobie wyobrazić, jako wielkie zbiorowisko cząstek trzeciego żywiołu, mających dookoła siebie wiele materji niebieskiej". Niejednorodność środowiska, otaczającego ziemię, jak również opór, jaki ruchowi „kulek niebieskich" (globuli coelestes) stawiają cząstki żywiołu trzeciego, są źródłem tego, „na czem polega ciężkość (gravitas) ciał ziemskich". Wyobraźmy sobie, że „wszystka przestrzeń dookoła ziemi, nie zajęta przez materję samej ziemi, jest próżna, to znaczy, że zawiera jedynie takie ciała, które w żadnym stopniu ani nie pomagają ani nie przeszkadzają ruchowi innych ciał (tak bowiem tylko można pojąć nazwę próżni)". W tych warunkach ruch obrotowy ziemi sprawiłby, że wszystkie jej części nie przywiązane do niej (alligatae) bardzo mocno, spłynęłyby ku niebiosom i „ziemię należałoby raczej nazwać lekką, nie ciężką". Tak jednak nie jest. Ziemię bowiem otacza materja niebieska i przenika wszystkie jej kanały (poros), wobec czego ziemia „posiada własności (rationes) ciała, znajdującego się w spoczynku", materja zaś niebieska sama przez się nie posiada ani ciężkości ani lekkości (levitas). Cząstki jej jednak, zmuszone przy spotykaniu się z ziemią do zbaczania ze swej prostolinjowej drogi, możliwie się od niej oddalają i „na tem polega ich lekkość". To oddalanie się zachodzić może tylko wtedy, gdy wstępujące do góry poszczególne cząstki materji

niebieskiej zepchną nadół te cząstki, na których miejsce się wznoszą. Taka zamiana miejsc nie może się zdarzyć nigdy z „kulkami niebieskiemi", a to z tego prostego powodu, że wszystkie one posiadają jednakową dążność oddalania się od ziemi. Inaczej jest z cząstkami ziemskiemi, w których dążność ta nie jest tak wielka, wobec czego spychane są nadół. Spychanie to będzie tem większe, im więcej cząstek trzeciego żywiołu przypadać będzie na daną objętość ciała. Pojęcie więc ciężaru i nawet samej ciężkości jest w teorji Descartes'a pojęciem względnem, zależnem od nadwyżki materji niebieskiej, zawartej w powietrzu, i nadwyżki cząstek ziemskich w danem ciele i „na tem jedynie polega... ciężkość". „Jest [więc] rzeczą niesłychanie łatwą objaśnić niezliczone doświadczenia, dotyczące ciężkości ciał (gravitas) lub raczej, jeżeli się tak można wyrazić, ciążenia (gravitatio), które ludziom, źle filozofującym (male philosophantibus), wydają się zadziwiającemi".

Zagadnienie grawitacji jest tedy zagadnieniem lokalnem, uwarunkowanem przedewszystkiem własnościami środowiska, w którem się ciało dane znajduje, nie zaś, jak to twierdzili Kopernik i Kepler, własnością materji. Związek między ruchem planet a ruchem ciała, spadającego na ziemię, staje się bardzo odległy. Wir słoneczny nie jest jednorodny; ta jego część, w której znajduje się ziemia, różni się od części dalszych, te zaś od części pochłoniętych najpóźniej i zawierających wiry Jowisza i Saturna. Poznanie zaś jego „budowy" jest warunkiem koniecznym znalezienia praw, rządzących zjawiskami, których bieg przez tę właśnie „budowę" jest

wyznaczony. To, co o niej założył Descartes, nie mogło w żadnym razie być uznane za wystarczające, choćby dlatego, że w najmniejszym nawet stopniu nie prowadziło do wyjaśnienia praw Keplera, znalezionych na drodze doświadczalnej. W dodatku, droga przez Descartes'a wskazana, nastręczała tak olbrzymie trudności, że do ich pokonania nie wystarczały ani jego siły ani, co więcej, siły ówczesnej fizyki. To też mimo ogromnego wpływu koncepcyj Descartes'a na ówczesny świat naukowy, mimo że do niejednego z założeń kartezjuszowskich fizyka będzie niejednokrotnie powracała, „Zasady filozofji" na bieg badań zjawisk ciążenia niewiele naogół wpłynęły, tem bardziej, że ogłoszone nieco wcześniej (1638 r.) prace Galileusza otwierały przed nauką nowe zupełnie widnokręgi. Zjawiała się możliwość, nie istniejąca dla Keplera, wyprowadzenia praw ruchu planet z poznanych nareszcie praw spadania ciała ciężkiego, możliwość, na którą wyraźnie wskazywał sam Galileusz. Do syntezy jednak Galileusza z Keplerem długa jeszcze i uciążliwa była droga.

Pierwsza chronologicznie praca, która ukazała się po dziele Descartes'a (w 1645 r.), była w zasadniczej treści raczej cofnięciem się do czasów przedkopernikowskich. Dla autora jej, astronoma francuskiego Bouillauda — nazywanego z łacińska Bullialdusem — filozofja Arystotelesa była kanonem, któremu każda teorja fizyczna powinna była czynić zadość. Z tego punktu widzenia poglądy Keplera były, rzecz prosta, z gruntu fałszywe. Fałszywe było przedewszystkiem podstawowe założenie, że działanie grawitacyjne może zmniejszać

się wraz z odległością. To bowiem, co sprawia, że ciało spada ku środkowi ziemi, wynika z samej istoty (fysis) ciała; istota zaś ciała nie może zależeć od tego, w jakiej odległości od „właściwego sobie miejsca" (ojkejos topos Arystotelesa) znajduje się ciało w danej chwili. Jest dalej rzeczą całkowicie błędną doszukiwać się jakichkolwiek analogij między ciężkością a przyciąganiem żelaza przez magnes. Komentarz, jakim odpowiednie twierdzenie fizyki Arystotelesa opatrzył Averroes (1140—1198(?)), nie pozostawia pod tym względem żadnych wątpliwości. Dążenie żelaza do magnesu zmniejsza się przy wzrastaniu ich wzajemnej odległości, może nawet przy wielkiem oddaleniu zniknąć zupełnie, nie jest ono bowiem tak, jak ciężkość, związane z samą istotą żelaza, lecz ujawnia się wtedy, gdy „żelazo przybiera pewną własność (jakość), pochodzącą od magnesu... Dzięki tej oto własności, żelazo staje się zdolnem poruszać ku kamieniowi magnetycznemu". Własność tę żelazo otrzymuje od magnesu za pośrednictwem powietrza otaczającego, które doznając pewnych zmian, wzbudza ze swej strony w żelazie zmiany analogiczne. To też Bullialdus wszystkie twierdzenia Keplera rozpatruje z wielką podejrzliwością i niechęcią. Uzasadnienie niejednakowej prędkości ruchu planet, uważanie słońca za źródło siły, poruszającej planety, prawo wreszcie, według którego siła ciążenia zmniejsza się z odległością, wydają mu się pozbawionemi podstaw naukowych i niezrozumiałemi. Dlaczego tylko słońcu Kepler przypisuje ducha, kiedy przecież wszystkie planety obracają się tak, jak słońce, dookoła osi? Czyż

można uważać za słuszne założenie, że „siła słoneczna" jest skupiona w jednej płaszczyźnie, gdy sam Kepler przypisuje jej pewne cechy materjalności? Jeżeliby taka siła istniała, w co zresztą Bullialdus nie wierzy, to musiałaby się zmieniać odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości, a więc nie tak, jak to zakładał Kepler. To jedno zdanie, wstawione dla tem lepszego pognębienia odstępcy od nauki Arystotelesa, uratowało pracę Bullialdusa od zapomnienia, na jakie książka ta — odgłos epoki zamierającej — całkowicie zasługiwała. Ironja losów sprawiła, że tego właśnie astronoma, który opierając się na niezrozumianym przez siebie tekście Kopernika, za wzór wziął pitagorejczyka Filolaosa i na jego cześć pracy swej nadał tytuł „Astronomia philolaica", wymieni w wiele lat później Newton, jako jednego ze swych poprzedników, a nawet zestawi go z Keplerem, pisząc, że „wielkości orbit najstaranniej ze wszystkich wyznaczyli na podstawie obserwacyj Kepler i Bullialdus".

Większą, niewątpliwie, wartość posiadała praca włoskiego uczonego Borelliego, ogłoszona w 1666 r. p. t. „Rozmyślania nad planetami medycejskiemi, wyprowadzone z przyczyn fizycznych" (Theoricae Mediceorum planetarum ex causis physicis deductae.[1]) Teorja ruchu planet, jaką dał Borelli w swej książce, stanowiła dość dziwną mieszaninę poglądów Arystotelesa z bardziej nowoczesnemi

[1]) Planetami medycejskiemi nazwał dla uczczenia rodu Medyceuszów Galileusz odkryte przez siebie księżyce Jowisza.

pojęciami mechaniki. Dwa są działania, wyznaczające orbitę planety: jedno z nich, natury magnetycznej, przyrodzone planecie (virtus magnetica planetae connaturalis), popycha ją ku słońcu, drugie jest identyczne z owem „usiłowaniem" (conatus) oddalania się od środka, jakie cechuje ciało, poruszające się po torze kołowym i któremu Descartes poświęcił tyle miejsca w „Zasadach filozofji". Pierwsze z tych działań nie zależy, podobnie jak u Arystotelesa, od odległości danej planety od słońca, jest „wieczne i jednostajne"; drugie zmniejsza się w miarę wzrostu odległości. W przypadku równości tych działań planeta porusza się po kole, gdy jedno z tych działań np. przyciąganie przeważa, planeta przybliża się do słońca. Wtedy jednak wzrasta stopniowo działanie przeciwne; na skutek swej bezwładności planeta przekracza położenie obojętne, w którem obydwa działania są równe, i zbliża się do słońca tak, że działanie odpychające przewyższa przyciąganie, to zaś powoduje oddalanie się planety od słońca. W ten sposób odległość planety od słońca okresowo wzrasta i maleje, tor planety przestaje być kołowym i staje się eliptycznym.

Można z całą pewnością twierdzić, że z pracą Borelliego Newton nie zetknął się podczas pobytu w Woolsthorpe; wymiana książek między różnemi krajami nie była podówczas tak szybka, aby dzieło, wydane we Florencji, było w tym samym roku znane w Cambridge, chyba, gdyby się o to postarał sam autor, przesyłając ją do znanych sobie członków grona profesorskiego. Z Borellim, którego również wymienia wśród tych, którzy przygotowali

grunt pod teorję grawitacji, Newton zapoznał się później, i nie tu należy szukać bezpośredniego źródła pierwszych jego badań nad istotą ciążenia. Źródło leżało znacznie bliżej — w samej Anglji.

Jeszcze w 1661 r. powierzyło T-wo Królewskie komisji, do której powołano i Boyle'a, zbadanie istoty ciężkości. Komisja ta, jak się zdaje, niczem nie zaznaczyła swojej działalności; być może jednak, że sam fakt jej istnienia skłonił młodego i utalentowanego fizyka Roberta Hooke'a do podjęcia systematycznych badań nad tem zagadnieniem. Hooke, niewiele co starszy od Newtona (ur. 1635 r.), pochodzący, podobnie jak i on, ze skromnego prowincjonalnego środowiska, miał już w owym czasie za sobą poważne zasługi naukowe, jako autor dzieła „Micrographia", w którem wyraźnie się ujawniły jego niepospolita wiedza i równie niepospolite zdolności. Rozprawy, jakie w d. 21 marca i 23 maja 1666 r. przedstawił T-wu Królewskiemu, były nowym dowodem jego uzdolnień. Rozprawy te zawierały opis doświadczeń, wykonanych przez Hooke'a w celu sprawdzenia wniosków, jakie wynikały z założenia magnetycznego charakteru ciężkości. Jeżeli bowiem słuszne są te założenia, jakie czynił Kepler w odniesieniu do wszystkich ciał niebieskich i Gilbert (1540—1603) w odniesieniu do ziemi, że ciążenie „jest przyciągającą mocą (power) magnetyczną, właściwą częściom kuli ziemskiej", to „ciało, na znacznej głębokości pod powierzchnią ziemi, będzie musiało stracić coś ze swego ciążenia lub dążenia nadół, a to wskutek przyciągania ziemi, umieszczonej nad niem. Ten pogląd znajduje potwierdzenie w pewnych doświadczeniach,

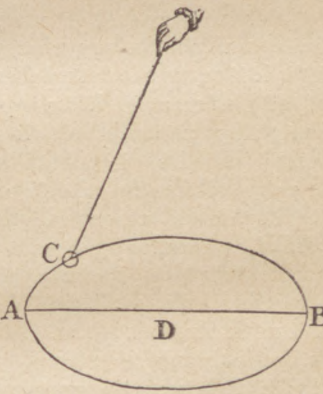
wykonanych przez niektóre godne osoby, należące do tego szanownego towarzystwa" (t. zn. do T-wa Królewskiego). Nie wiemy, kogo i jakie doświadczenia Hooke miał na myśli; poza Keplerem i Gilbertem wymienia w swej rozprawie tylko jedno jeszcze nazwisko — głośnego Franciszka Bacona, barona Verulamu (1561—1626), który umarł na wiele lat przed powstaniem T-wa Królewskiego[1]).

Opierając się na takich autorytetach, Hooke przystąpił do wykonania doświadczenia, które według tego samego schematu powtórzy w przeszło dwieście lat później monachijski fizyk Jolly dla sprawdzenia prawa grawitacji. Pod jedną z szalek wagi, ustawionej na wierzchołku wieży kościoła św. Pawła w Londynie, był umocowany drut, sięgający stóp wieży. Badane ciało było ważone dwa razy: wtedy, gdy leżało na szalce, i wtedy, gdy było zawieszone na końcu drutu. W obydwu przypadkach doświadczenie wykazało tę samą wagę ciała. Podobny wynik otrzymał przy ważeniu ciała na powierzchni ziemi i na głębokości 90 lub nawet 330 stóp pod ziemią. Hooke przypisał, słusznie zresztą, to niepowodzenie zbyt małej czułości przyrządu i zamierzał zastąpić wagę wahadłem lub nadać jej inną, bardziej dostosowaną do celu doświadczenia budowę; sądząc jednak ze sprawozdania T-wa Królewskiego z d. 4 kwietnia tegoż roku, możemy przypuszczać, że użycie tych przyrządów

---

[1]) Hooke powołuje się na „szlachetnego Verulamczyka" jako tego, który „częściowo podzielał ten pogląd", co nie jest, jak się zdaje, słuszne. Bacon bowiem stawiał raczej przypuszczenie odwrotne, że ciężar ciał wzrasta wraz z głębokością.

również nie dało wyraźnych wyników. Wobec tego Hooke spróbował ująć z innej strony to zagadnienie i dać, jeżeli nie wyjaśnienie, to w każdym razie model mechaniczny, któryby odtwarzał zgruba ruchy planet dookoła słońca. Nie jest rzeczą wykluczoną, że pomysł ten zapożyczył Hooke z nieogłoszonego jeszcze wówczas drukiem listu niejakiego Jamesa Horroxa. List ten wraz z wszystkiemi papierami zmarłego w 1640 r. Horroxa był przekazany w 1664 roku T-wu Królewskiemu, przedtem jednak był w rękach Wallisa, ówczesnego profesora w Oksfordzie, gdzie Hooke, jako student, a później magister oksfordzki, mógł się z nim zapoznać. Horrox zwracał uwagę, że gdy wprawimy w ruch kołowy rękę, trzymającą wahadło, to wahadło zamiast wahać się w jednej płaszczyźnie pionowej „opisze krzywą owalną taką, jak ACB. W ten sposób jednak (co koniecznie należy zaznaczyć), że proste AB będą stale zmieniały apsydy[1]) (iż je tak nazwę) A, B, poruszając się ku tym częściom, ku którym porusza się ciężkie wahadło,



Ryc. 7. Doświadczenia Horroxa.

---

[1]) Końce wielkiej osi orbity planety, łączącej punkty przysłoneczny (perihelium) i odsłoneczny (aphelium).

lecz o wiele później. Tak że jeżeli... przy jednym obrocie największa od środka D odległość jest w A, przy następnym obrocie będzie w C. Ten ruch będzie tem szybszy, im bardziej krzywa zginać się będzie od koła do owalu... Gdy w ten sposób ruchy planet, o ile chodzi o kształt orbit, o ile chodzi o ruch punktów odsłonecznych, naśladują ten ruch wahadła, to czyż i przyczyny obydwu zjawisk nie są podobne?..."

Hooke rozwinął i uzupełnił pomysł Horroxa. Do sufitu pokoju przymocował długi drut, na którego końcu zawiesił kulę drewnianą. W zależności od siły uderzenia, które wprawiało wahadło w ruch eliptyczny, zmieniał się kształt drogi, opisywanej przez wahadło, i położenie większej osi elipsy; w przypadku, gdy siła uderzenia tak była dobrana, że dokładnie równoważyła siłę przyciągania do środka, wahadło opisywało koło. Dla odtworzenia ruchu księżyca dookoła ziemi Hooke przywiązywał do kuli wahadła drut z umocowaną na końcu kulką mniejszą. Wtedy „ani większa kula, wyobrażająca ziemię, ani mniejsza, wyobrażająca księżyc, nie poruszała się po tak doskonałem kole lub elipsie, po jakiej się poruszała wtedy, gdy była zawieszona i poruszana sama jedna, ale pewien punkt, który wydaje się być środkiem ciężkości tych dwu ciał... zdaje się poruszać prawidłowo po takiem kole lub elipsie, obiedwie zaś kule poruszają się szczególnemi ruchami po małych epicyklach dookoła tego samego punktu".

Przypuszczać należy, że Hooke nie uważał doświadczenia tego za dokładny obraz ruchu ciał niebieskich i siły, działającej na wahadło w kie-

runku środka elipsy i proporcjonalnej do pierwszej potęgi odległości, za identyczną z siłą grawitacji. O tem, że takie założenie byłoby fałszywe, Hooke wiedział, jak się zdaje, już wtedy, chodziło mu raczej o wskazanie możliwości mechanicznego objaśnienia ruchu ciał niebieskich i ten cel całkowicie osiągnął.

Newton musiał słyszeć o tych doświadczeniach Hooke'a, inaczej bowiem trudno byłoby zrozumieć, na jakiej zasadzie mógł on, według Voltaire'a, zakładać, że ciężar nie ulega dostrzegalnemu zmniejszeniu „na największej głębokości i na najwyższej górze". Nikt inny prócz Hooke'a tego nie dowiódł. Stwierdzenie tego faktu, przeczącego rozpowszechnionemu mniemaniu o szybkiem zmniejszaniu się ciężaru ciała w miarę oddalania się od ziemi, musiało niewątpliwie wywrzeć na Newtonie duże wrażenie. Być może, wtedy właśnie, gdy przechadzając się samotnie, rozmyślał o tem zagadnieniu, spadające jabłko ukazało mu nagle głęboki sens tego zjawiska i związek jego z budową wszechświata. Wtedy też prawdopodobnie doszedł do przeświadczenia, że „jakkolwiek moc (power) ciężkości nie słabnie dostrzegalnie przy niewielkiej zmianie odległości od środka ziemi, której sami możemy doznać, jest jednak rzeczą zupełnie możliwą, że na tej wysokości, na jakiej się znajduje księżyc, natężenie tej mocy może się wielce różnić od wartości, jaką ma tutaj". „Porównywając okresy różnych planet z ich odległościami od słońca, znalazł, że jeżeli jakaś moc, podobna do ciężkości, utrzymuje planety w ich biegu, natężenie jej musi się zmniejszać w podwójnym stosunku do wzrostu od-

ległości. Wniosek ten wyprowadził, zakładając, że planety poruszają się po kołach doskonałych, współśrodkowych do słońca, od których orbity większości z nich mało się różnią. Zakładając również, że moc ciężkości, gdy ją rozciągniemy na księżyc, zmniejsza się w ten sam sposób, obliczył, jaka siła (force) wystarczyłaby do utrzymania księżyca na jego orbicie. Przy tych obliczeniach, będąc pozbawiony książek, przyjął zwykłą ocenę, używaną przez geografów i naszych marynarzy, zanim Norwood zmierzył ziemię[1]), że jeden stopień szerokości na powierzchni ziemi zawiera 60 mil angielskich. Ale ponieważ takie założenie jest błędne, gdyż każdy stopień zawiera około $69^1/_2$ naszych mil, obliczenie nie dało oczekiwanej odpowiedzi, wobec czego doszedł do wniosku, że należy dołączyć jeszcze jakieś przyczyny do działania mocy ciężkości. Po takiem stwierdzeniu odłożył na jakiś czas dalsze rozmyślania". Tak przedstawia wyniki, do jakich wówczas doszedł Newton, dr. Pemberton we wstępie do swej książki, poświęconej rozpatrzeniu filozofji Newtona. Pemberton był redaktorem trzeciego, ostatniego za życia Newtona, wydania „Zasad matematycznych filozofji przyrody" i, według wszelkiego prawdopodobieństwa, szczegóły, które podaje, miał od Newtona.

---

[1]) Ustęp ten, jak zresztą całe to opowiadanie, jest dość niejasny. Norwood, który w tym właśnie okresie czasu (1668 r.) był zaproszony do współudziału w pracach T-wa Król., wyniki swych pomiarów ogłosił jeszcze w 1636 r. (Seeman's Practice). W „Zasadach" (rozdział siódmy) Newton powołuje się nie na niego, lecz na Picarda (1620—1682).

Nieco odmiennie przedstawia dzieje swego odkrycia sam Newton w liście, pisanym znacznie wcześniej, gdyż w 1686 r. „W jednem z moich pism (nie mogę powiedzieć, w którym roku, ale jestem pewien, że na jakiś czas, zanim zacząłem jakąkolwiek wymianę listów z p. Oldenburgiem[1]) mniej więcej 15 lat temu jest zaznaczony stosunek sił między planetami i słońcem, jako odwrotny do drugiej potęgi ich odległości od niego, i obliczony, jakkolwiek niedość dokładnie, stosunek naszej ciężkości do „conatus recedendi" księżyca od środka ziemi". Stądby wynikało, że pierwsze sformułowanie prawa odwrotnych kwadratów nastąpiło już po wyjeździe z Woolsthorpe'u w Cambridge około 1671 lub 1672 roku. Niestety, ani Newton ani Pemberton nie podają, w jaki sposób były wykonane te obliczenia. Można przypuszczać, że użyta była ta sama metoda, jaką znajdujemy później w trzeciej księdze „Zasad", tem bardziej że, jak Pemberton zaznacza, Newton przyjmował drogi planet za kołowe. Wtedy twierdzenie o wartości siły dośrodkowej daje odrazu żądane wyniki[2]). Zachodzi jednak pytanie, czy Newton znał już wtedy to twierdzenie. Huygens (1629 — 1695), który je odkrył, ogłosił je dopiero w 1673 r. w piątej części

---

[1]) Ówczesny sekretarz T-wa Królewskiego.

[2]) Ze wzoru $a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$, można, znając R i T, wyznaczyć przyspieszenie księżyca, następnie zaś z porównania stosunku $\frac{ak}{g}$ sprawdzić, czy jest on równy odwrotności stosunku kwadratów promienia ziemi i odległości księżyca od środka ziemi.

swego słynnego dzieła „Zegar wahadłowy" (Horologium oscillatorium), nie podając zresztą uzasadnienia. Książkę tę Newton otrzymał od autora zaraz po jej wyjściu z druku. W liście, zawierającym podziękowanie za ten cenny dar, Newton nie wspomina, aby twierdzenie to było mu już znane, zaznacza jedynie „użyteczność [tych praw] w filozofji". „Dodałem z mych wyżej wymienionych pism przykład ich użyteczności przy porównywaniu sił, wywieranych na księżyc przez ziemię i na ziemię przez słońce".

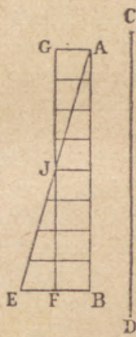
Jakkolwiek bądź w owym okresie czasu Newton mógł być co najwyżej w posiadaniu tylko częściowego rozwiązania zagadnienia grawitacji; do całkowitego jej rozwiązania potrzebne mu było nowe narzędzie badawcze — nowy rachunek matematyczny. Powstanie tego rachunku wiązało się z rozwojem mechaniki galileuszowskiej, było jej koniecznem uzupełnieniem, potwierdzając raz jeszcze słuszność słów Leonarda da Vinci, że „mechanika jest rajem nauk matematycznych, gdyż przez nią dochodzi się do owocu wiedzy matematycznej".

ROZDZIAŁ TRZECI.

Pierwsze prace matematyczne.

„medejs ejsito ageometretos"
(niech nikt nie wchodzi, kto nie zna geometrji)
Zasada nauki Platona według Arystotelesa.

Trzeciego dnia rozmów między pp. Salviati, Sagredo i Simplicio na temat „dwu nowych umiejętności, dotyczących mechaniki i ruchów miejscowych", rozmów, stanowiących treść epokowego dzieła Galileusza (1564 — 1642)[1], omawiane było między innemi twierdzenie, że czas zużyty na przebycie danej drogi ruchem jednostajnie przyspieszonym, równy jest czasowi, w ciągu którego ciało przebyłoby tę samą drogę ruchem jednostajnym z prędkością równą połowie największej prędkości danego ruchu przyspieszonego. Twierdzenia tego Galileusz dowodzi w sposób następujący. Niech AB wyobraża czas, w ciągu którego ciało z położenia spoczynku C przebiega



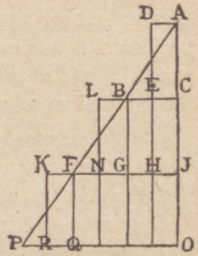
Ryc. 8.

[1]) Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nove scienze attinenti alla meccanica ed ai movimenti locali, Lejda 1638.

drogę CD ruchem jednostajnie przyspieszonym. Odłóżmy prostopadle do AB odcinek EB, proporcjonalny do ostatecznej prędkości. Odcinki prostopadłych do AB, wystawione w jednakowych odstępach i zawarte między AB i prostą AE, będą proporcjonalne do chwilowych prędkości spadającego ciała. Można bez trudu udowodnić, że pole trójkąta AEB jest równe polu prostokąta GABF. Z tej równości pól Galileusz wyprowadza wniosek, że gdyby ciało poruszało się przez cały czas z prędkością $GA = \frac{1}{2} EB$, droga przebyta byłaby ta sama, i w ten sposób uważa wyżej postawione twierdzenie za udowodnione.

Dowód ten opiera się na milczącem założeniu, że gdy w ruchu jednostajnym droga przebyta jest proporcjonalna do pola prostokąta, zbudowanego na odcinkach proporcjonalnych do czasu trwania ruchu i do jego prędkości, w ruchu jednostajnie zmiennym drogę można wyrazić polem trójkąta, opisanego przez równomiernie wzrastającą prędkość. Założenia tego Galileusz nigdzie nie uzasadnia, poprzestając na stwierdzeniu, że „czego... braknie momentom w pierwszej połowie ruchu przyspieszonego (braknie równoległych zawartych w trójkącie AGI), to przybywa momentom przez równoległe w JEF". Objaśnienia tego nie można uważać za jasne, szczególniej gdy się zważy, że sam termin „moment ruchu" niezawsze miał u Galileusza ściśle określone znaczenie; możnaby nawet zgodzić się z Simpliciem, że wywody, na tem twierdzeniu oparte, są „nieco ciemne", gdyby nie twierdzenie dalsze, tym razem wypowiedziane przez Sagreda. Podzielmy czas spadania AO na trzy ró-

wne części i zastosujmy do każdej z nich dopiero co udowodnione twierdzenie. W ciągu pierwszej jednostki czasu (AC) ciało przebyło taką samą drogę, jakąby przebyło, poruszając się z prędkością stałą, równą EC; w ciągu drugiej jednostki równoważna prędkość ruchu stałego byłaby NJ, w ciągu trzeciej QO. Taki ruch równoważny



Ryc. 9.

nie będzie, oczywiście, odtwarzał wszystkich szczegółów ruchu rzeczywistego: tylko w jednym momencie, odpowiadającym połowie wybranej przez nas jednostki czasu, prędkości jednego i drugiego ruchu będą identyczne, we wszystkich innych chwilach to jedna z nich, to druga będzie większa. Na rysunku wyrazi się to w ten sposób, że koniec odcinka, wyobrażającego prędkość, w ruchu rzeczywistym poruszać się będzie po prostej AP, w równoważnym ruchu fikcyjnym opisze linję łamaną. Wystarczy jednak przyjrzeć się uważnie rysunkowi, ażeby spostrzec, że zwiększając dowolnie ilość części, na jakie dzielimy odcinek AO, możemy różnicę między linją łamaną i prostą AP uczynić dowolnie małą i, co za tem idzie, upodobnić prawie zupełnie ruch fikcyjny do rzeczywistego. Galileusz całego tego rozumowania nie przeprowadza, uważa widać, że rozważania o nieskończoności, stanowiące w znacznej mierze treść pierwszego dnia „Rozmów", przygotowały już słuchaczów do zrozumienia, że w ostatecznym wyniku każdy ruch zmienny można uważać za szereg nieskończenie krótkotrwałych ruchów jednostajnych o coraz to innej prędkości. Wtedy droga, opisana

przez ciało, będzie sumą dróg, opisanych takiemi ruchami jednostajnemi; w przypadku więc spadku ciała będzie proporcjonalna do pola trójkąta, jako sumy pól nieskończenie małych prostokątów DAEC.

Jest rzeczą oczywistą, że takie założenie można było stosować również i do przypadku, gdy prędkość zmienia się nie jednostajnie, lecz w inny jakiś sposób, t. zn. gdy związku między prędkością i czasem nie wyraża prosty wzór $v = at$, lecz wzór bardziej złożony $v = f(t)$. Wtedy linja, łącząca wierzchołki prostopadłych, odtwarzających chwilowe prędkości, nie będzie linją prostą, lecz linją krzywą, której kształt zależeć będzie od rodzaju związku między prędkością i czasem, a więc od wzoru $v = f(t)$, wyrażającego to, co dziś nazywamy równaniem krzywej, a co Fermat (1601—1665) nazywał jej cechą szczególną (proprietas specifica). Droga, przebyta takim ruchem, nie będzie proporcjonalna, oczywiście, do pola trójkąta, lecz do pola, zawartego między prostą czasu i daną krzywą.

Tego ogólnego przypadku Galileusz w swych „Rozmowach" nie rozpatrywał; nie wiązał się on coprawda z treścią książki, uwzględniającą jedynie ruch jednostajny i jednostajnie przyspieszony. Gdy z innych jakichkolwiek powodów była mu potrzebna znajomość pola, ograniczonego nie przez linję prostą, lecz przez linję krzywą, przez parabolę np., jak w zagadnieniu, dotyczącem wytrzymałości belek (dzień drugi rozmów), posługiwał się on dawną grecką metodą „wyczerpywania" (exhaustionis)[1], z którą

[1]) Typowym przykładem tej metody jest rozumowanie sofisty Antyfona, dotyczące kwadratury koła. Jeżeli wpi-

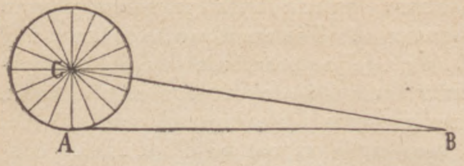
zresztą jego nowa metoda była w niewątpliwym genetycznym związku. Nie znaczyło to jednak, aby nie rozumiał, jak wielkie znaczenie posiada dla rozwoju mechaniki możność dokładnego wyznaczania pól, ograniczonych przez linję krzywą, czyli t. zw. kwadratura, którą przy użyciu metod geometrji klasycznej można było w najlepszym razie wyznaczyć jedynie w sposób niezwykle uciążliwy i daleki od prostoty. Jeszcze w 1598 r. Galileusz próbował wyznaczać pole cykloidy[1]) drogą doświadczalną, ważąc wycięte pola cykloidy i odpowiadającego jej koła. Nie może też ulegać wątpliwości, że znał analogiczne badania Keplera, z którym prowadził ożywioną korespondencję.

Kepler, nawiązując do geometrji Archimedesa, uwypuklił te założenia, które matematyk grecki przyjmował milcząco, i użył ich do wyznaczania kwadratury koła, wziętej za punkt wyjścia rozważań. „Obwód koła posiada tyle części, ile punktów, to znaczy, nieskończenie wiele". Każdą z tych części możemy uważać za podstawę

---

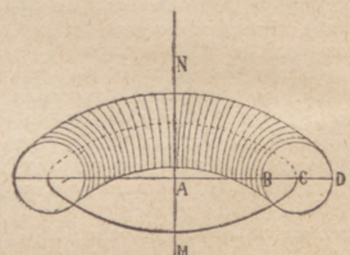
szemy w koło kwadrat, na bokach jego wystawimy trójkąty równoboczne tak, że otrzymamy wpisany ośmiokąt, następnie w podobny sposób wpiszemy szesnastokąt i tak będziemy postępowali, „dopóki pole koła nie będzie całkowicie wyczerpane, to otrzymamy wielokąt, wpisany do koła w taki sposób, że boki jego na skutek swej małości zleją się z obwodem koła." Pierwszy, jak się zdaje, nazwał metodę tę metodą wyczerpywania wybitny matematyk Grzegorz od Ś-go Wincentego (Gregorius a Sancto Vincentio) (1584 — 1679) w dziele „Opus geometricum quadraturae circuli et sectionum coni" (1647 r.).

[1]) Krzywa, którą opisuje punkt koła, toczącego się po linji prostej, nazwę swą zawdzięcza Galileuszowi.



Ryc. 10.

równobocznego trójkąta, tak że całe pole koła możemy rozbić na nieskończenie wiele trójkątów, których wierzchołki znajdują się w środku koła C. Wysokość każdego z tych trójkątów jest równa promieniowi koła AC, wobec czego otrzymamy sumę pól wszystkich trójkątów, która będzie równa polu koła, gdy pomnożymy promień AC przez połowę obwodu koła, t. zn. sumę podstaw wszystkich trójkątów. Tę metodę — rozbijania danej figury na części elementarne, których pola lub objętości są nam znane — stosuje Kepler do przypadków, nierozwiązanych przez Archimedesa. Jednym z takich przypadków jest objętość pierścienia kołowego (annulus). Płaszczyznami, przechodzącemi przez oś NM, możemy podzielić pierścień na „nieskończenie wiele bardzo małych krążków". Każdy z tych krążków ma grubość, wzrastającą równomiernie od B do D, możemy więc za przeciętną grubość uważać tę jej wartość, jaką posiada w punkcie C. Objętość każdego krążka przyjmujemy za równą objętości bardzo krót-



Ryc. 11.

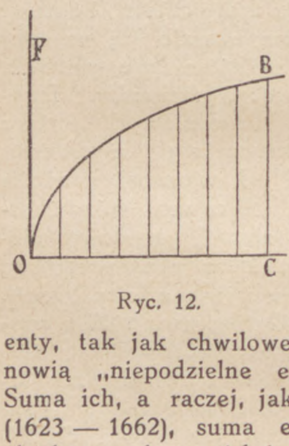
kiego walca o podstawie równej polu krążka i o wysokości takiej, jak jego grubość. Suma tych objętości będzie oczywiście równa iloczynowi pola przekroju pierścienia przez sumę grubości wszystkich krążków, t. zn. przez obwód koła, przechodzącego przez ich środki. W podobny sposób Kepler wyznaczył objętości i innych brył.

Nie wiemy, jak Galileusz zużytkował metodę Keplera, wiemy tylko, że nad zagadnieniami temi stale pracował, i że przytoczony wyżej ustęp z „Rozmów" nie był odosobnionym fragmentem. Pewność tę czerpiemy z dzieła, które ukazało się na trzy lata przed „Rozmowami", i które było pierwszą bodaj próbą stworzenia nowego rachunku. Dziełem tem była „Geometrja niepodzielnych", pióra włoskiego matematyka Bonawentury Cavalieriego (1598(?) — 1647). Cavalieri od wczesnej młodości był w bliskich stosunkach z Galileuszem, który życzliwem okiem śledził szybki rozwój umysłowy młodego uczonego, w 21 roku życia powołanego do wykładów matematyki na uniwersytecie w Pizie[1]). W listach Cavalieriego do Galileusza z 1626 r. spotykamy nietylko wzmianki o planie dzieła, jakie Cavalieri zamierzał napisać, lecz również zapytania, jak się posuwa praca Galileusza nad tem samem zagadnieniem. Pracy tej, jak wiemy, Galileusz nie ogłosił, wywarł jednak głęboki i niezaprzeczony wpływ na treść książki Cavalieriego. Byłoby rzeczą zbyteczną streszczać obszernie traktat „O niepodzielnych", byłoby to poza tem rzeczą dość trud-

---

[1]) Data urodzenia Cavalieriego nie jest dokładnie znana; wiadomo tylko, że w 1619 r. już wykładał w Pizie.

ną, gdyż, jak słusznie stwierdza historyk matematyki Cantor, „Cavalieri zasługiwałby na nagrodę za niejasność, gdyby taka nagroda była udzielana"; wystarczy zwrócenie uwagi na to, co ściśle łączy geometrję Cavalieriego z mechaniką Galileusza, na te pojęcia, które później podejmie Newton, zachowując prawie bez zmiany terminologję włoskiego matematyka. Jak droga ciała spadającego wzrasta stopniowo w miarę upływającego czasu, i odtworzyć ją możemy z płaszczyzny trójkąta, opisanego przez odcinek prostej, odtwarzający chwilowe prędkości, podobnie, według Cavalieriego, pole każdej figury, ograniczonej krzywą, np. pole OBC możemy sobie wyobrazić, jako utworzone przez „płynięcie" linji prostopadłej do OC, linji, którą Cavalieri nazwał „płynącą" (fluens). Chwilowe położenia fluenty, tak jak chwilowe prędkości Galileusza, stanowią „niepodzielne elementy" szukanego pola. Suma ich, a raczej, jak słusznie poprawił Pascal (1623 — 1662), suma elementarnych prostokątów, zbudowanych na nich i na odpowiednim odcinku osi, daje nam pole badanej figury.



Ryc. 12.

W tym samym mniej więcej czasie, gdy galileuszowski pomiar drogi, przebytej przez ciało, doprowadzał Cavalieriego do nowej metody kwadratury krzywych, matematyk francuski Roberval (Gilles Personnier de Roberval, 1602 — 1675) wziął za

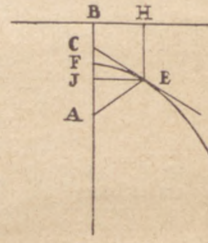
przedmiot swych dociekań zagadnienie odwrotne: dany jest kształt drogi, jaką opisuje ciało; znaleźć kierunek prędkości, jaki ciało w danym punkcie drogi posiada. To zagadnienie, które z punktu widzenia geometrji sprowadzało się do wyznaczenia stycznej w danym punkcie krzywej, miało już swoją historję i niejedna istniała próba jego rozwiązania. Descartes uważał je za najużyteczniejsze i najogólniejsze z pomiędzy wszystkich zagadnień geometrji nietylko tych, które mu są znane, ale i tych, które chciałby kiedykolwiek poznać. Roberval zetknął się z tem zagadnieniem, pracując nad zbadaniem własności cykloidy, krzywej, która wówczas przykuwała uwagę wielu matematyków. Badania te, początkowo wyłącznie matematyczne, nie dawały Robervalowi żadnych wyników. Tak przynajmniej sądzić można z faktu, że gdy Descartes znalazł w 1638 r. prosty stosunkowo sposób znajdowania stycznej do cykloidy, pisał on nie bez pewnego zadowolenia, że „p. de Roberval, który to zadanie postawił i który bezwątpienia jest jednym z pierwszych geometrów naszego stulecia, stwierdził, że nie zna żadnego rozwiązania i że nie zna żadnego sposobu, przy którego pomocy mógłby je otrzymać". Sposób ten znalazł Roberval dopiero w ogłoszonych drukiem na początku 1638 r. „Rozmowach" Galileusza w ustępie, dotyczącym t. zw. ruchu złożonego. „Jeżeli ciało bez żadnej przeszkody porusza się na płaszczyźnie poziomej... ten ruch jest jednostajny i nieustannie trwający...; gdy... płaszczyzna jest ograniczona, a poruszające się na niej ciało — ciężkie, to doszedłszy do brzegu płaszczyzny, poruszać się ono będzie dalej, a do pierwotnego, jednostajnego,

nie ginącego ruchu dochodzi ruch, wywołany przez ciężkość, i wytwarza się ruch złożony...“

To twierdzenie, którego rozwinięciu poświęca Galileusz czwarty dzień swych „Rozmów“, staje się punktem wyjścia metody Robervala. Krzywą badaną uważa za tor punktu, poruszającego się ruchem złożonym z dwu ruchów jednostajnych. Znalezienie więc stycznej do krzywej sprowadza się do wyznaczenia prędkości wypadkowej, to bowiem, że prędkość ta będzie miała kierunek stycznej do toru, jest dla Robervala pewnikiem. Wyznaczenie wypadkowej umożliwia reguła, którą Roberval podaje i która jest pierwszem sformułowaniem zasady dodawania prędkości. „Gdy punkt ruchomy podlega dwu ruchom, z których każdy jest prostolinjowy i jednostajny, to ruch złożony z obydwu tych ruchów zachodzi również jednostajnie i prostolinjowo i, jakkolwiek od nich różny, w tej samej, co i one płaszczyźnie, tak iż prosta, opisana przez punkt ruchomy, jest przekątną równoległoboku, którego boki są do siebie w stosunku takim, jak prędkości dwu danych ruchów“. Niech krzywą badaną będzie np. parabola. Ma ona, jak wiadomo, tę własność, że każdy jej punkt jest jednakowo odległy od pewnej linji prostej, t. zw. kierownicy paraboli, i od pewnego punktu, t. zw. ogniska paraboli. Gdy jakiś punkt materjalny poruszać się będzie po paraboli w kierunku EF, zmniejszanie się jego odległości od prostej BH będzie równe zmniejszaniu się odległości od punktu A. Jeżeli założymy, że ruch punktu po paraboli jest ruchem złożonym z ruchów w kierunku AE i EH, to będziemy mogli uważać prędkości tych ruchów za jednakowe. Przekątna

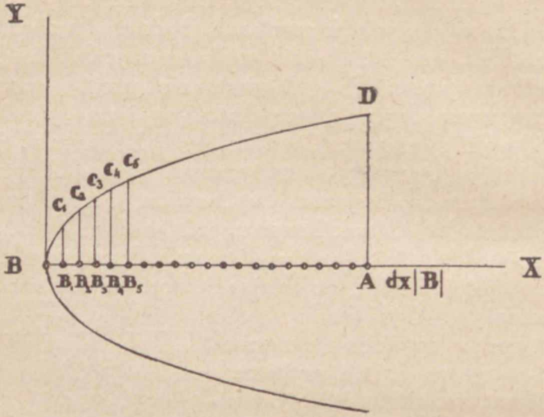
równoległoboku, zbudowanego na dwu równych odcinkach, o danych kierunkach, będzie dwusieczną kąta AEH, ona też będzie szukaną styczną do paraboli w punkcie E. W podobnie prosty sposób można wyznaczyć styczną do elipsy i do cykloidy.

Z wynikami prac Cavalieriego i Robervala, jak również wyłącznie matematycznych badań Descartes'a i Pascala, zapoznał się Newton jeszcze przed wyjazdem do Woolsthorpe'u, jak o tem świadczą liczne jego notatki z tego czasu. Przewodnikiem jego w tej nowej, powstającej dopiero dziedzinie matematyki, był Barrow. On też, prawdopodobnie, zwrócił mu uwagę na dzieła wybitnego matematyka oksfordzkiego Wallisa (1616 — 1703), z których jedno zwłaszcza „Arithmetica infinitorum", wydana w 1655 r., było jakgdyby uzupełnieniem i pogłębieniem metod Keplera i Cavalieriego. Wallis podobnie



Ryc. 13.

jak Cavalieri, dzielił pole, ograniczone daną krzywą, na pola elementarne; powstaniu jednak takich pól nadawał nieco odmienny charakter, możnaby powiedzieć bardziej statyczny, niż kinematyczny i przez to zbliżony raczej do metody, używanej przez Keplera. Niech krzywa BD będzie np. parabolą, której pole, zawarte między daną krzywą, prostą BA i prostą DA, chcemy wyznaczyć. Wallis dzieli odcinek AB na n równych części i w punktach B_1 B_2... wystawia prostopadłe do linji AB. Jeżeli części BB_1, B_1B_2, B_2B_3... są dostatecznie małe, możemy każde z pól elementarnych $B_1C_1C_2B_2$ uwa-



Ryc. 14.

żać za równe polu prostokąta, zbudowanego na odcinkach B_1B_2 i B_1C_1; suma tych pól da nam wartość szukanego pola. Oznaczmy przez l długość każdego z odcinków BB_1, B_1B_2..., i przez y_1, y_2,... długości odpowiednich prostopadłych, wtedy pole szukane wyrazi się wzorem

$$s = ly_1 + ly_2 + \dots + ly_n = l\,(y_1 + y_2 + \dots + y_n)$$

W przypadku paraboli pomiędzy odległością danego punktu na prostej BA od punktu B i odcinkiem prostopadłej, wystawionej w danym punkcie, istnieje prosta zależność. Gdy pierwszą z tych wielkości, którą uczony jezuita Stefano degli Angeli nazwał w 1654 r. odciętą — abscissa, oznaczymy przez x, drugą zaś, która zachowała dawną nazwę rzędnej — ordinata —, jaką jeszcze Rzymianie oznaczali linje

równoległe, przez y, związek między długościami tych odcinków wyrazi się wzorem

$$y = ax^2,$$

gdzie a pewna wielkość stała, charakteryzująca daną parabolę. Wobec tego odcinki $y_1, y_2 \ldots y_n$ będą odpowiednio równe al^2, $a\,(2\,l)^2 \ldots\, a\,(nl)^2$ i wzór na sumę przybierze postać

$$s = a\,[l.l^2 + l\,(2l)^2 + \ldots l\,(nl)^2] = al^3(1 + 2^2 + 3^2 \ldots + \ldots + n^2),$$

zagadnienie geometryczne sprowadza się więc do znalezienia sumy wyrazów, zawartych w nawiasie.

W pracach Torricelliego (1608 — 1647), dzięki którym zapoznał się z metodą Cavalieriego, mógł Wallis znaleźć gotową odpowiedź dla przypadku o wiele ogólniejszego, a mianowicie dla sumy wyrazów

$$1 + 2^m + 3^m + \ldots + n^m,$$

gdzie m jest dowolną liczbą całkowitą dodatnią. Suma ta dla n dostatecznie wielkiego równa jest, według Torricelliego,

$$\frac{1}{m+1}\,n\,.\,n^m = \frac{1}{m+1}\,n^{m+1}$$

i stąd dla paraboli tego typu, jaki był wyżej rozpatrywany,

$$s = al^3\,\tfrac{1}{3}\,n \cdot n^2 = \tfrac{1}{3}\,a\,(ln)^3.$$

Z uwagi jednak, że ln jest długością odcinka BA, którą oznaczaliśmy przez x,

$$s = \tfrac{1}{3}\,ax^3.$$

Wallis twierdzenie Torricelliego[1]) sprawdził w ten

[1]) Nad tem zagadnieniem pracowali również Cavalieri, Roberval i Fermat.

sposób, że biorąc coraz to większą liczbę wyrazów sumy, dodawał je i wyznaczał różnicę pomiędzy otrzymaną na tej drodze wielkością i tą, która wynikała ze wzoru. Stwierdził, że w miarę wzrastania liczby dodawanych wyrazów różnica ta stawała się coraz to mniejsza, tak iż przez zwiększanie n można ją było sprowadzić do wielkości mniejszej od jakiejkolwiek wielkości oznaczonej — quavis assignabili minor[1]).

Wzór Torricelliego pozwolił Wallisowi uogólnić tę metodę na wszystkie krzywe, których równania mogły być sprowadzone do typu

$$y = ax^m,$$

gdzie m byłoby liczbą całkowitą, dodatnią, co więcej umożliwiał mu rozwiązywanie zagadnień bardziej złożonych, takich np., w których związek między rzędną i odciętą wyrażał się dwumianem

$$y = (1 + x^m)^s,$$

oczywiście przy zachowaniu poprzedniego warunku, że s i m są dodatniemi liczbami całkowitemi.

Istotnie w najprostszem równaniu tego typu

$$y = 1 + x$$

możemy uważać rzędną y za sumę dwu rzędnych: jednej y_1 stałej, równej zawsze jedności i drugiej y_2 o długości tej samej, co długość danej odciętej. Wtedy

$$y = y_1 + y_2.$$

Założenie dodatkowe, które Wallis przyjmuje, jak się zdaje, za oczywiste, że pole, odpowiadające da-

---

[1]) W ten sposób Wallis pierwszy wprowadził pojęcie granicy.

nemu równaniu, możemy uważać za sumę pól, odpowiadających równaniom $y_1 = 1$ i $y_2 = x$, pozwala odrazu rozwiązać zadanie. Pierwsze pole nie jest niczem innem, jak polem prostokąta, którego podstawą jest x, wysokością rzędna równa jedności, pole takie równe będzie przeto $x \cdot 1$; wartość drugiego pola znajdziemy, gdy do wzoru Torricelliego podstawimy $m = 1$. Stąd pole całkowite

$$s = x + \tfrac{1}{2} x^2.$$

W przypadkach bardziej złożonych wystarczy rozwinięcie dwumianu i zastosowanie do każdego z jego wyrazów tego samego rozumowania, które dało tak proste i przejrzyste wyniki przy obliczaniu pola paraboli. Tablice, podające wartości spółczynników kolejnych wyrazów dwumianu, dla różnych wartości s, były opublikowane jeszcze w 16 wieku przez Stiefela (1486[?]—1567). Pascal ujął je w kształt „trójkąta arytmetycznego". Jego też Wallis cytuje w swej książce i posługuje się temi samemi, co i on, prawidłami.

Trudności istotne rozpoczynały się wtedy, gdy m było ułamkiem. Twierdzenie Torricelliego tego przypadku nie uwzględniało. Wallis stosuje tutaj metodę, która słusznie uważana być może za wzór rozumowania indukcyjnego.

Rozpatrzmy trzy krzywe takie, że wykładnik potęgi x w równaniu jednej z nich jest średnią arytmetyczną wykładników potęgi x w równaniach dwu krzywych pozostałych. Niech to będą np. krzywe $y = ax^m$, $y = ax^{m+p}$; $y = ax^{m+2p}$. Stosując wzór Torricelliego, otrzymujemy na pole, ograniczone przez te krzywe, wartości

$$s = \frac{1}{m+1} a x^{m+1};\ s = \frac{1}{m+p+1} a x^{m+p+1};\ s = \frac{1}{m+2p+1} a x^{m+2p+1}$$

z których odrazu widać, że wykładnik potęgi x w wyrażeniu na pole, ograniczone przez drugą krzywą, jest też średnią arytmetyczną wykładników $m+1$ i $m+2p+1$. Wallis zakłada, że tak będzie i w tym przypadku, gdy $2p$ jest liczbą nieparzystą, a więc gdy $m+p$ jest liczbą ułamkową. Wzór przeto na sumę obowiązuje również i w przypadku wykładników ułamkowych, a nawet, jak to Wallis bez dalszych dowodzeń przyjmuje, i niewymiernych. Stąd wynika twierdzenie, któremu Newton nada w swej pierwszej pracy matematycznej postać następującą:

„Jeżeli $ax^{\frac{m}{n}} = y$, będzie $\frac{an}{m+n} x^{\frac{m+n}{n}} =$ polu ABD."

We wszystkich przeto przypadkach, gdy r ó w n a n i e krzywej można było przedstawić w postaci sumy algebraicznej wyrazów typu $ax^{\frac{m}{n}}$ powyższe twierdzenie pozwalało znaleźć pole, ograniczone przez daną krzywą. Doprowadzenie jednak do takiej sumy nie we wszystkich przypadkach było możliwe. Z chwilą, gdy wykładnik dwumianu s był ułamkowy, jak np. wtedy, gdy krzywą badaną jest koło, powyższa reguła zawodziła, i Wallis mimo wszelkich wysiłków nie mógł dać w tym przypadku żadnego rozwiązania ogólnego.

Temi właśnie przypadkami, niedostatecznie rozwiązanemi przez Wallisa, zajął się Newton, prawdopodobnie jeszcze przed przyjazdem do Woolsthorpe'u. Tak przynajmniej można sądzić z ustępu listu, pisanego w 1676 r. do ówczesnego sekretarza

T-wa Królewskiego, Oldenburga. Newton, opisując dzieje swych pierwszych odkryć matematycznych, zaznacza, że „w tym oto czasie grożąca dżuma (która wybuchła w latach 1665, 1666) zmusiła mnie do ucieczki stąd[1]) i do myślenia o innych rzeczach". Pobyt w Woolsthorpe nie był jednak, jak się zdaje, pozbawiony znaczenia. Tam bowiem odosobnione pomysły zaczęły się łączyć w pewną całość, tam też prawdopodobnie obmyślił Newton treść pierwszej swej rozprawy „De analysi".

Z dziełem „naszego znakomitego Wallisa" zapoznał się, jak pisze we wspomnianym wyżej liście, na początku swych studjów matematycznych. Wtedy to zaczął się zastanawiać, czy zasady indukcji użytej z takiem powodzeniem przez Wallisa, nie możnaby zastosować do rozwiązania i tych przypadków kwadratury, których do wzoru Wallisa bezpośrednio sprowadzić nie było można. Podobieństwo równań takich, jak

$$(1\text{-}x^2)^{\frac{0}{2}}, (1\text{-}x^2)^{\frac{1}{2}}, (1\text{-}x^2)^{\frac{2}{2}}, (1\text{-}x^2)^{\frac{3}{2}}, (1\text{-}x^2)^{\frac{4}{2}}, (1\text{-}x^2)^{\frac{5}{2}}, (1\text{-}x^2)^{\frac{6}{2}}$$

było według Newtona wskazówką, że pola, odpowiadające krzywym, wyrażonym przez te równania, powinny wyrażać się również podobnemi wzorami. Pola, odpowiadające pierwszemu, trzeciemu, piątemu... równaniu są znane; równe są odpowiednio

$$x\ ,\ x - \tfrac{1}{3}x^3\ ,\ x - \tfrac{2}{3}x^3 + \tfrac{1}{5}x^5\ ,\ x - \tfrac{3}{3}x^3 + \tfrac{3}{5}x^5 - \tfrac{1}{7}x^7.$$

Newton zakłada, że z tych wartości można na drodze „interpolacji"[2]) znaleźć wartości pól, odpowiadających krzywym wyrażonym równaniem drugiem,

---

[1]) z Cambridge.

[2]) Termin, wprowadzony przez Wallisa.

czwartem, szóstem... To założenie, dowodzące całkowitego zrozumienia tego, co w metodzie Wallisa było rzeczą bodaj najcenniejszą, skierowało Newtona na drogę poszukiwania prawa, według którego możnaby obliczać we wzorach odpowiednich pól współczynniki przy x. Do pracy zabrał się z zapałem; lubił, szczególniej w młodych latach, tego rodzaju dociekania, które często zabierały mu wszystek czas wolny.

Newton zauważył przedewszystkiem, że we wszystkich znanych mu wzorach pierwszy wyraz jest zawsze równy x, drugi zaś można było przedstawić w sposób następujący

$$\frac{0}{3}x^3 \quad , \quad \frac{1}{3}x^3 \quad , \quad \frac{2}{3}x^3 \quad , \quad \frac{3}{3}x^3 \ldots$$

Wyrazy te różnią się jedynie licznikiem spółczynnika liczbowego. Stosując rozumowanie Wallisa, Newton zakłada, że w przypadkach, odpowiadających krzywym drugiej, czwartej..., licznik ten będzie średnią arytmetyczną z dwu liczników, odpowiadających krzywym sąsiednim, przeto dwa pierwsze wyrazy będą odpowiednio równe

$$x - \frac{\frac{1}{2}x^3}{3} \quad , \quad x - \frac{\frac{3}{2}x^3}{3} \quad , \quad x - \frac{\frac{5}{2}x^3}{3} \ldots$$

Dla znalezienia wyrazów dalszych trzeba było wyznaczyć odpowiednie liczniki współczynników liczbowych wyrazów, zawierających wyższe potęgi x, mianowniki bowiem we wszystkich przypadkach tworzą postęp arytmetyczny 1, 3, 5, 7... Otóż, rozpatrując wyżej podane wzory znanych pól, możemy bez trudu zauważyć, że liczniki mają wartość tę samą, co kolejne cyfry, otrzymane przy podnoszeniu 11 do odpowiedniej potęgi, a więc 11^0 , 11^1 ,

11^2...; otrzymamy wtedy, jako wartości liczników dla pierwszej krzywej: 1, dla trzeciej 1, 1, dla piątej krzywej 1, 2, 1, dla siódmej 1, 3, 3, 1, dla dziewiątej 1, 4, 6, 4, 1... Niech m oznacza licznik wyrazu drugiego, wtedy wzór

$$\frac{m-0}{1} \times \frac{m-1}{2} \times \frac{m-2}{3} \times \frac{m-3}{4} \times \ldots$$

wyrazi prawo powstania liczników. Dla otrzymania licznika wyrazu trzeciego bierzemy iloczyn dwu pierwszych czynników, licznika wyrazu czwartego — trzech pierwszych i t. d. To prawo stosować się będzie i do pól, odpowiadających krzywym drugiej, czwartej, szóstej i t. d., z tą jedynie różnicą, że m będzie, jak wynika z poprzedniego, ułamkiem.

Stąd na pole, ograniczone przez koło, a więc przez krzywą, której równanie jest $y = (1 - x^2)^{\frac{1}{2}}$, Newton otrzymał wzór następujący:

$$s = x - \frac{\frac{1}{2}x^3}{3} - \frac{\frac{1}{8}x^5}{5} - \frac{\frac{1}{16}x^7}{7} - \frac{\frac{5}{128}x^9}{9} - \ldots$$ [1]

Jest rzeczą oczywistą, że identyczne rozumowanie można równie dobrze zastosować nietylko do wzorów, wyrażających pola, lecz również i do wzorów, wyrażających równania tych krzywych, które te pola ograniczają, a więc nietylko do

$$x\,,\ x - \tfrac{1}{3}x^3\,,\ x - \tfrac{2}{3}x^3 + \tfrac{1}{5}x^5\quad x - \tfrac{3}{3}x^3 + \tfrac{3}{5}x^5 - \tfrac{1}{7}x^7,$$

lecz i do

$$1\,,\ 1 - x^2\,,\ 1 - 2x^2 + x^4\quad 1 - 3x^2 + 3x^4 - x^6.$$

---

[1] Promień koła przyjmujemy za równy jedności.

Wzory otrzymane dadzą rozwinięcie dwumianu o ułamkowym wykładniku potęgi,[1]) a więc to twierdzenie, które dzisiaj pospolicie nazywamy dwumianem Newtona.

Tego wniosku Newton w owym czasie nie wyprowadził. Dowodem dalszy ustęp z tego samego listu do Oldenburga. „To było moje pierwsze wejście w te rozważania; coprawda byłbym o nich zapomniał, gdyby nie to, że kilka tygodni temu jeszcze raz przeglądałem notatki. Otóż, gdy je rozpatrywałem, spostrzegłem natychmiast, że wyrażenia $\overline{1-xx}^{\frac{0}{2}}$, $\overline{1-xx}^{\frac{2}{2}}$, $\overline{1-xx}^{\frac{4}{2}}$, $\overline{1-xx}^{\frac{6}{2}}$,[2]) i t. d. można interpolować w ten sam sposób, co pola, przez nie utworzone; i że wystarczy jedynie opuszczenie mianowników 1, 3, 5, 7 i t. d. w wyrażeniach, odpowiadających polu[3]). Tak więc współczynniki tej wielkości, którą mamy interpolować, $\overline{1-xx}^{\frac{1}{2}}$ lub $\overline{1-xx}^{3/2}$ lub ogólnie $\overline{1-xx}^{m}$ powstają przez ciągłe mnożenie wyrazów szeregu

$$m \times \frac{m-1}{2} \times \frac{m-2}{3} \times \frac{m-3}{4} \times \ldots\text{"}$$

Wzór ogólny powstał przeto zgórą w dziesięć lat po tem, jak została wyraźnie wskazana droga, na jakiej można go było otrzymać. Wtedy jednak nie był on potrzebny Newtonowi i wobec tego wcale go nie interesował. I bez niego rozwinięcie metody Wallisa dało wyniki, o wiele przekraczające

---

[1]) $(1-x^2)^{1/2}$, $(1-x^2)^{3/2}$ i t. d.

[2]) Kreska u góry oznacza nawias; $xx = x^2$.

[3]) które oczywiście należy podzielić przez x.

pierwotny zakres poszukiwań. Newton dał nietylko wzór na kwadraturę koła i hiperboli[1]), która zresztą wynikała bezpośrednio z rozważań poprzednich, lecz wykazał, że w analogiczne szeregi można rozwinąć ułamki algebraiczne, stosując zwykłe prawidła dzielenia, przy użyciu zaś sposobów nieco bardziej złożonych można w postaci takiego szeregu przedstawić t. zw. funkcję wykładniczą, w której wielkość zmienna jest wykładnikiem potęgi, oraz funkcje trygonometryczne.

Tworząc w ten sposób nowy dział badań matematycznych, który zczasem wspaniale miał się rozwinąć, Newton małą, zdaje się, przywiązywał wagę do wyłącznie matematycznej strony zagadnienia. Ujawniło się to w stosunku do najważniejszej może własności newtonowskich szeregów, własności, która w gruncie rzeczy decydowała o tem, czy mogą one być przydatne do rozwiązywania zagadnień takich, jak kwadratura. Sam bowiem fakt, że szereg, wyrażający np. pole koła, składał się z nieskończenie wielkiej liczby wyrazów, mógł nasuwać wątpliwości, czy istnieje jakaś wielkość, którą moglibyśmy nazwać sumą szeregu, czy w miarę zwiększania liczby dodawanych wyrazów różnica pomiędzy tą wielkością i daną sumą może być, podobnie jak w szeregach Wallisa, uznana za „quavis assignabili minor". Badanie tej własności, którą dzisiaj nazywamy zbieżnością szeregu, jest dla Newtona rzeczą prawie zbędną. Dowody, jakie przytacza w pierwszej swej pracy „De analysi per aequatio-

[1]) Równanie hiperboli $y = (1 + x^2)^{1/2}$, gdy osie są równe jedności.

nes numero terminorum infinitos" (O analizie przy pomocy równań o nieskończonej liczbie wyrazów), napisanej w 1669 r., są dalekie od ścisłości matematycznej. Widać, że Newton nie nadaje jej szczególnego znaczenia. Zbieżność bowiem szeregów, wyrażających kwadraturę oznaczonej krzywej, była dla niego oczywista, ut patet, jak pisał w podobnych przypadkach Wallis. „Rozwiązanie zagadnień geometrycznych, stwierdzał Newton w swej „Arithmetica universalis", wydanej w 1707 r., zachodzi zawsze przy użyciu tych samych sposobów analitycznych, które służą do rozwiązywania zagadnień wyłącznie liczbowych; jedyna różnica polega na tem, że litery, które w zagadnieniach algebraicznych oznaczają wielkości oderwane, w danym przypadku wyrażają linje znane lub nieznane". Użycie więc metod algebraicznych nie wnosi żadnej nowej treści do zagadnienia; jest ono narzędziem, ułatwiającem rozwiązanie. Treść daje geometrja i, dodajmy odrazu, mechanika; albowiem, jak to już stwierdzał Galileusz, a za nim nieraz powtórzy to Newton „cała mechanika opiera się na geometrji". Stąd wynika, że wzór wyrażający pole, które z natury rzeczy posiada pewną oznaczoną wartość, musi też prowadzić do wartości oznaczonej. To, że składa się z wyrazów, których ilość możemy zwiększać do nieskończoności, stanowi cechę każdego pomiaru, stanowi jego istotę. Pomiar bowiem wykonany w celu ustalenia „stosunku, jaki zachodzi pomiędzy dowolną wielkością i inną tego samego rodzaju, którą bierzemy za jednostkę", w wyjątkowym tylko przypadku, jak tego dowodzi codzienne doświadczenie fizyka, wyraża się liczbą całkowitą. Można nawet

powiedzieć, że taki wynik ma zazwyczaj swe źródło w niedostatecznej dokładności pomiaru, zwiększenie jej prowadzi do zastąpienia liczby całkowitej liczbą ułamkową. Stąd, według Newtona, bierze początek uogólnienie pojęcia liczby. Określenie pomiaru, podane wyżej, Newton stosuje do liczby, uważając je za słuszniejsze od określenia liczby, „jako zbioru wielu jednostek". Liczby niewymierne, które możemy wyrazić ułamkiem dziesiętnym o nieskończonej liczbie cyfr, byłyby w myśl tych założeń czemś, co najbardziej odpowiada istocie pomiaru. Szereg zaś o nieskończonej liczbie wyrazów byłby odpowiednikiem algebraicznym liczb niewymiernych. Różnica, jedyna zresztą, polegałaby na tem, że wartością szeregu, zależną od wymaganej dokładności, t. zn. od ilości sumowanych wyrazów, nie byłaby, jak w przypadku liczby niewymiernej, pewna oznaczona liczba, lecz cały ich zespół, objęty jednym wspólnym symbolem algebraicznym.

Jak tam dodanie jednego dziesiętnego znaku, tak tu uwzględnienie jeszcze jednego wyrazu oznacza zwiększenie dokładności pomiaru. Dla danej oznaczonej zgóry dokładności szereg ma wartość oznaczoną; jeżeli zbieżność szeregu nie jest odrazu widoczna, przyczyna leży w nieumiejętnem stosowaniu rachunku. Tak np. gdy ułamek $\frac{1}{1+x^2}$, który dla wszystkich wartości x będzie miał wartość oznaczoną, rozwiniemy w szereg, szereg ten musi być zbieżny.

„Jeżeli $\frac{1}{1+xx} = y$, przez dzielenie otrzymamy

$$y = 1 - x^2 + x^4 - x^6 + x^8 - \ldots \text{ i t. d.}$$

...Otóż, jeżeli wyraz xx jest umieszczony pierwszy w dzielniku, t. zn. $(xx + 1)$, to będzie $x^{-2} - x^{-4} + x^{-6} - x^{-8} \ldots$ i t. d. ma wartość y. Używa się pierwszej metody, gdy x jest dostatecznie małe, i drugiej, gdy x jest dostatecznie duże".

„Można zapewne wymyślić [zagadnienia] tak zagmatwane zawiłemi rachunkami, że nie będziemy w stanie dostatecznie ich zrozumieć i tem bardziej wytrzymać ciężaru takich rachunków, jakich wymagają"; dla Newtona takie zagadnienia nie zasługiwały na uwagę. Ten wielki matematyk uważał matematykę za narzędzie, podobne do dłóta lub hebla, którem się posługiwał w Grantham i Woolsthorp'e przy budowie zegara lub wiatraka; badanie zaś narzędzia, choćby tak doskonałego, jak matematyka, nie mogło być samo dla siebie celem. Stąd obojętność Newtona dla owych „zawiłych warunków", stąd sformułowanie dopiero po dziesięciu latach twierdzenia, które miało pod jego nazwiskiem przejść do potomności, stąd wreszcie dorywczość i ułamkowość w opracowywaniu największego odkrycia, jakiem się może poszczycić matematyka końca 17 wieku — teorji fluksyj.

Teorja ta, której początki odnieść należy również do czasów pierwszego pobytu w Cambridge, była, niewątpliwie, licznemi więzami złączona z pracą nad szeregami i rozwijaniem metody Wallisa. W owym jednak okresie czasu, kiedy podstawowe jej pojęcia zaczynały stopniowo powstawać w umyśle Newtona, o wiele więcej zawdzięczała bezpośredniemu wpływowi Barrowa. Newton został,

zdaje się, dopuszczony do tych wykładów Barrowa, które były przeznaczone jedynie dla wybranych. Wykłady te i pozawykładowe komentarze zapoznawały Newtona z poglądami Barrowa, stojącemi w związku z pracami popularnego w Anglji Robervala, a poprzez niego z rozważaniami Galileusza.

Podobnie jak i oni, Barrow własności krzywych wyprowadzał z założeń mechanicznych, krzywe bowiem powstają ze złożenia spotykających się ruchów (motus compositi et concurrentes). Tak, jak Galileusz, uważał Barrow, że czas przedstawić można linją prostą, prędkości zaś ciała — prostopadłemi do linji czasu, wystawionemi w odpowiednich jej punktach. Jakkolwiek bowiem czas jest pojęciem niezależnem zupełnie od pojęcia ruchu lub spoczynku, „jest trwaniem (perseverantia) danej rzeczy w swoim bycie", to jednak miarą jego jest ruch, i każdy obraz taki, jak prosta lub koło, które wyobrażają równomierność, może służyć do wyobrażenia czasu.

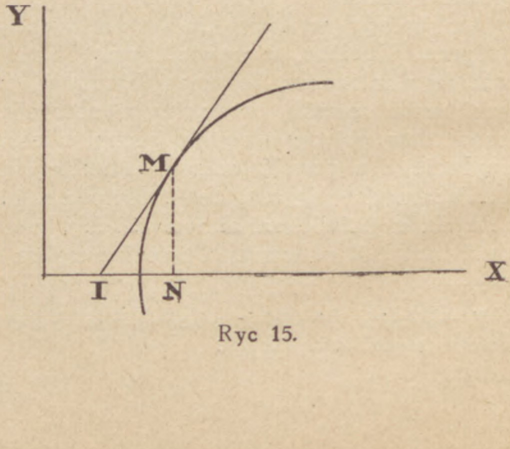
W ten sposób wywody Galileusza zostały ex post usprawiedliwione, usprawiedliwione więc były i dalsze jego założenia, że pola płaszczyzn, utworzonych przez zespół prostych, wyobrażających prędkości, dają pojęcie o danym ruchu, o narastaniu prędkości i o powstawaniu wskutek tego prędkości „złączonych" (aggregatae)[1]. Metoda zaś „niepodzielnych, najłatwiejsza ze wszystkich", pozwala wielkość tych pól obliczyć. Opierając się na tych

---

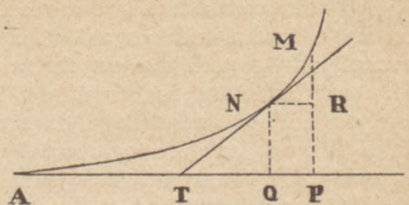
[1]) Z prędkości, którą ciało zachowało na skutek bezwładności, i z prędkości nabytej.

rozważaniach mechanicznych, Barrow ustala w sposób bardzo zbliżony do sposobu, użytego przez Robervala, ogólne prawidła obliczania z równania danej krzywej długości t. zw. podstycznej[1]) i stąd wyznaczania stycznej do krzywej w danym punkcie. Niech *MT* (ryc. 16) będzie styczną do krzywej w punkcie *N*, *NM* zaś „nieskończenie małym odcinkiem krzywej". Prostopadła, opuszczona z punktu *M* na prostą *A*, jest dłuższa od analogicznej prostopadłej, opuszczonej z punktu *N*, o odcinek *MR*, otrzymany przez przeprowadzenie z punktu *N* linji *NR*, równoległej do *AP*. Barrow oznacza odcinek *NQ* przez *m*, *MR* przez *a*, *NR* przez *e* i wreszcie szukaną długość podstycznej *TQ* przez *t*. Trójkąt *MNR* Barrow uważa za trójkąt o bokach prostolinjo-

[1]) Niech *MN* będzie prostopadłą, opuszczoną z punktu styczności *M* na oś *x*-ów, długość odcinka *TN* między punktem przecięcia stycznej *TM* z osią *x* i spodkiem prostopadłej będzie długością podstycznej.



Ryc 15.



Ryc. 16.

wych: „jeżeli do rachunku wchodzi nieskończenie mała część (indefinita particula) krzywej, to należy ją zastąpić odpowiednio wziętą częścią stycznej lub jakąkolwiek (z uwagi na nieskończoną małość krzywej) jej równoważną prostą". Z podobieństwa trójkątów MNR i TNQ wynika proporcja $a : m = e : t$. Otóż, a i e nie są niczem, jak przyrostami spółrzędnych przy przejściu od punktu M do punktu N krzywej. Spółrzędne punktu M muszą, oczywiście, również czynić zadość równaniu krzywej. Podstawiając je do tego równania, i następnie, usuwając wszystkie wyrazy, nie zawierające a i e, tworzą one bowiem równanie krzywej, wyrażone w spółrzędnych punktu N, a więc z natury rzeczy, równe zeru, otrzymujemy związek między a i e, a po uwzględnieniu wyżej podanej proporcji również między m i t.[1])

---

[1]) Niech będzie np. równanie paraboli $y^2 = bx$ lub $y^2 - bx = 0$. Zamiast y podstawiamy $y + a$, zamiast x podstawiamy $x + e$, otrzymamy $(y + a)^2 - b(x + e) = 0$. Otwierając nawiasy i odrzucając drugą potęgę e, otrzymamy $y^2 + 2ay - bx - eb = 0$. Wiemy jednak, że $y^2 - bx = 0$, pozostaje przeto $2ay - eb = 0$. Podstawiając zamiast e z proporcji $m = y$ i t, otrzymamy

$$2ay - \frac{at}{y}b = 0 \text{ i ostatecznie } t = \frac{2y^2}{b}$$

W rozważaniach Barrowa należy szukać pierwotnego źródła tych początkowo drobnych, to porzucanych, to podejmowanych na nowo rachunków Newtona, których zestawienie i to, jak się zdaje, nie obejmujące wszystkiego, do czego Newton wówczas doszedł, zawiera cytowana już uprzednio rozprawa „De analysi". W jednej z pierwszych, a może i pierwszej notatce tego typu, opatrzonej datą 13 listopada 1665 r., Newton rozpatruje zagadnienie, będące jakby uzupełnieniem „Rozmów" Galileusza. „Dane jest równanie, wyrażające związek dwu lub więcej linij x, y, z i t. d., opisanych w tym samym czasie przez dwa lub więcej poruszających się ciał A, B, C i t. d.; znaleźć stosunek ich prędkości." Dla rozwiązania tego zagadnienia, w którem wystarczy nazwać prędkości fluksjami, wielkości zaś x, y, z... fluentami, aby otrzymać podstawowe zagadnienie tego rachunku, który Newton nazwie później rachunkiem fluksyj, Newton posługuje się następującem rozumowaniem.

Jeżeli dwa ciała A i B poruszają się ruchem jednostajnym, to drogi, przez nie przebyte, są oczywiście w takim do siebie stosunku, jak prędkości p, q, tych ciał; jeżeli zaś ruch ten nie jest jednostajny, to biorąc „nieskończenie małe" (infinitely little) drogi, możemy przyjąć, że stosunek ich i w tym przypadku równy będzie stosunkowi tych prędkości, „które [ciała te] posiadały podczas opisywania tych dróg". Przyjmując w ten sposób milcząco założenie, stanowiące podwalinę rozważań Galileusza, że ruch niejednostajny możemy rozpatrywać, jako ciąg ruchów jednostajnych o coraz to innych prędkościach, Newton pisze dalej: „A więc jeżeli

ciało *A*, o prędkości *p*, opisuje w pewnej chwili nieskończenie małą linję *o*, w tej samej chwili ciało B, o prędkości *q*, opisze linję $\frac{oq}{p}$. Gdyż $p : q : : o : \frac{oq}{p}$[1]). Tak, że, jeżeli w pewnej chwili linje opisane są *x* i *y*, to w chwili następnej będą one $x + o$ i $y + \frac{oq}{p}$. Otóż jeżeli równanie, wyrażające stosunek linij *x* i *y*, jest $rx + xx - yy = 0$, mogę podstawić $x + o$ i $y + \frac{oq}{p}$ na miejsce *x* i *y*, gdyż wielkości te równie dobrze, jak *x* i *y*, powinny wyznaczać linje, opisane przez ciała *A* i *B*. Po uczynieniu tego wynika

$$rx + ro + xx + 2xo + oo - yy - \frac{2qoy}{p} - \frac{qqoo}{pp} = 0.$$

Ale zgodnie z założeniem $rx + xx - yy = o$, pozostaje przeto

$$ro + 2xo + oo - \frac{2qoy}{p} - \frac{qqoo}{pp} = 0$$

i, dzieląc przez o,

$$r + 2x + o - \frac{2qy}{p} - \frac{qqo}{pp} = 0.$$

Ale te wyrazy, w których znajduje się *o*, są nieskończenie mniejsze, niż te, w których go niema. Gdy je odrzucimy, pozostanie

$$r + 2x - \frac{2qy}{p} = 0 \text{ lub } pr + 2px - 2qy = 0.\text{"}$$

---

[1]) Inaczej $p : q = o : \frac{oq}{p}$.

Jest to prawie dosłowne powtórzenie rozumowania Barrowa; zgodność zbyt jest uderzająca, aby ją można było pominąć milczeniem.

Trudno ustalić, kiedy Barrow opracował ostatecznie swą metodę, w wielu zresztą szczegółach zbliżoną do ogłoszonej jeszcze w 1642 r. metody Fermata. Do publicznej wiadomości podał ją dopiero w roku 1669, ustępując, jak pisał, przyjacielskim naleganiom Newtona, który ogłoszenie jej na nim „wymusił" (extorsit). Opis jej stanowił treść dziewiątego rozdziału „wykładów optyki i geometrji" (lectiones opticae et geometricae), będących zestawieniem tego wszystkiego, co w zakresie tych dwu dziedzin wiedzy Barrow wykładał starszym słuchaczom. Sądząc z przedmowy, można przypuszczać, iż Barrow kładł większy nacisk na optyczną część swego dzieła, geometryczną uważając jedynie za drobny do niej dodatek (mantissa). Wynikałoby stąd, że do zawartych w niej twierdzeń większej wagi nie przywiązywał, może dlatego, że lepiej, niż ktokolwiek zdawał sobie sprawę z ich zależności od pracy badaczów poprzednich — Descartes'a, Fermata i Robervala, może też z tego powodu, że niektóre z nich, jak np. dobitne stwierdzenie związku między zagadnieniem stycznej i kwadraturą krzywej, uważał za same przez się zrozumiałe. Nie znaczy to jednak, aby twierdzenia te nie były wynikiem jego samodzielnych badań. Barrow był człowiekiem niezwykle skrupulatnym i prawym, i można być pewnym, że pisząc „o metodzie znajdowania rachunkiem stycznych, często przeze mnie używanej" (a no-

bis usitatum), nie przywłaszczał sobie cudzych pomysłów.

Z drugiej jednak strony i Newton nie był ślepym naśladowcą Barrowa. Należy bowiem wziąć pod uwagę, że przytoczona wyżej notatka była jednym z pierwszych szkiców nowego rachunku. Już i ona w dalszej swej części zawierała twierdzenia, których Barrow albo wcale nie poruszał albo poruszał bardzo powierzchownie, że wymienimy choćby wyznaczanie promienia krzywizny danej krzywej. Wpływ Barrowa był niewątpliwy, ujawniał się np. we wprowadzeniu pojęcia nieskończenie małych wielkości, które stopniowo będzie Newton starał się usuwać ze swych rozważań.

Wydaje się jednak, że w miarę, jak posuwały się prace Newtona nad kwadraturą i jak stawały przed nim coraz to nowe zagadnienia, rozumowania jego stawały się coraz samodzielniejsze. Pewną rolę odegrał pod tym względem pobyt w Woolsthorpe, uwalniając Newtona na dłuższy przeciąg czasu od dobroczynnego, ale jednocześnie krępującego swobodę myśli towarzystwa profesora. Nie bez pewnego prawdopodobieństwa można przypuszczać, że Barrow nie znał dokładnie wszystkich prac Newtona. „Przypominam sobie, pisał Newton w 1672 r., że mówiłem z Barrowem, który wtedy był pogrążony w opracowywaniu swych wykładów, o posiadaniu przeze mnie metody kreślenia stycznej, ale nie wiem już, jaka okoliczność przeszkodziła mi w opisaniu tej metody".

Faktem jest, że rękopis „De analysi" w pewnych szczegółach, pomijając nawet rozdziały dotyczące kwadratury i rozwinięcia na szeregi,

różnił się od „wykładów geometrycznych" Barrowa. Przedewszystkiem związek między zagadnieniem stycznych i kwadraturą, podkreślony przez Barrowa, został przez Newtona o wiele wszechstronniej rozwinięty i co więcej, udowodniony rachunkowo. W rozdziale dziesiątym „De analysi" Newton rozpatruje zagadnienie, w jaki sposób, znając pole, ograniczone przez krzywą, znaleźć równanie tej krzywej, i stwierdza, że stosując rachunek, analogiczny do tego, jakiego wzór dał w przytoczonej wyżej notatce, można równanie to otrzymać. Ta sama metoda może być zastosowana do jeszcze jednego zagadnienia — wyprostowywania (rektyfikacji) krzywej t. zn. do znajdowania długości danego odcinka krzywej.

Stopniowo tedy myśli, podsunięte przez Barrowa, prowadziły do coraz większych uogólnień, których sam Barrow dać nie mógł; stopniowo coraz wyraźniejszem stawało się to wspólne źródło, z którego obydwaj czerpali — wielkie dzieło Galileusza. Użycie przez Newtona w „De analysi" nieużywanego przez Barrowa pojęcia chwilowej zmiany danej wielkości i nazwanie jej galileuszowskim terminem „moment" było jakgdyby wskazówką, że opieka starszego przyjaciela już się skończyła, i że Newton bezpośrednią nawiązuje łączność ze swymi wielkimi poprzednikami. „De analysi" nie było jeszcze dziełem mistrzowskiem, ale zapowiadało mistrza. Tej zapowiedzi nie zauważono; niedoceniona, złożona do archiwum praca Newtona miała czekać na zaszczyt ukazania się w druku jeszcze bardzo długie lata.

ROZDZIAŁ CZWARTY.

Teorja barw.

„...Irys przez niebiosa skrzydły tęczowemi
Tysiącem w słońcu różnych kolorów spowita
Zleci...“
Wergiliusz. Eneida, ks. V, 700 — 703
(przekład ks. T. Karyłowskiego).

Do Cambridge Newton wrócił w końcu 1667 r. W październiku tegoż roku został wybrany na „młodszego towarzysza“ (minor fellow) kolegjum Św. Trójcy, uzyskując w ten sposób dzięki stypendjum i mieszkaniu, związanym z tym urzędem, pewną niezależność materjalną. W marcu roku 1668 otrzymał stopień magistra sztuk (master of arts) i w tymże roku był wybrany na „starszego towarzysza“ (maior fellow) kolegjum. W roku następnym objął po Barrowie katedrę matematyki. Barrow bowiem, równie znakomity kaznodzieja, jak uczony, postanowił zerwać z działalnością naukową i poświęcić się wyłącznie obowiązkom stanu duchownego. Powołanie na wakującą w ten sposób katedrę nieznanego nikomu Newtona, o którego pracach naukowych wiedział tylko jego profesor i o którym jeszcze w parę lat później, gdy budowa teleskopu zwróci na niego pewną uwagę, będzie pisał anonimowy autor jako

o „pewnym rzemieślniku angielskim, nazwiskiem Newton" (artifex quidam Anglus nomine Newton), było dziełem Barrowa.

Na Barrowa wpłynęło prawdopodobnie zaznajomienie się z pracami matematycznemi Newtona, o których zresztą tylko częściowo był poinformowany. Z Woolsthorpe'u przywiezione były one do Cambridge w postaci luźnych, nieuporządkowanych notatek, ujętych w pewną całość dopiero w 1668, a może i na początku 1669, i stanowiących treść pierwszej pracy Newtona „De analysi", o której losach wyżej była już mowa. Praca ta została wysłana 31 lipca 1669 r. do Collinsa.

Barrow w liście, towarzyszącym wysyłce rękopisu, pisał, że jest to dzieło jego „przyjaciela, który posiada szczególny genjusz do tych rzeczy...", w drugim zaś, wysłanym w trzy tygodnie później i ujawniającym niepodane poprzednio nazwisko autora, zaznaczał raz jeszcze, że autor dzieła „Newton, fellow naszego kolegjum, posiada mimo swej młodości (drugi bowiem dopiero rok jest magistrem sztuk) niezwykły genjusz i zręczność w tych rzeczach". Można przypuszczać, że istotnie taką była opinja Barrowa i że list do Collinsa nie zawierał częstej w tych przypadkach przesady. Dowodem cały stosunek Barrowa do Newtona, wzmianki o nim w przytaczanych już wyżej „Wykładach matematyki" i wreszcie zwrócenie się do niego w tych właśnie (1668 i 1669) latach o przejrzenie, uzupełnienie i korektę „Wykładów optyki", które Barrow wtedy przygotowywał do druku. Praca nad książką Barrowa, re-

dagowanie na prośbę Collinsa nowego wydania przekładu algebry Kinkhuysena, obowiązki lektora, które Newton pełnił w 1669 r., i co najważniejsze przygotowywanie się do własnych wykładów w uniwersytecie, opóźniły wykończenie wynalazku, gotowego w ogólnych zarysach już w 1668 r. Wynalazkiem tym był teleskop, w którym soczewki zostały zastąpione przez zwierciadła.

Podobny przyrząd na kilka lat przedtem był zbudowany przez Gregory'ego i opisany w jego „Optica promota", wydanej w 1663 r. Newton jednak do swego wynalazku doszedł, zdaje się, samodzielnie, wtedy gdy w wyniku zmudnych prób i doświadczeń ustalił, błędnie zresztą, że żaden układ szkieł optycznych nie jest w stanie usunąć charakterystycznego zabarwienia, zjawiającego się zawsze na brzegach obrazu, otrzymanego przy pomocy soczewki. „Tym, co twierdzą, — pisał Newton w 1672 r., odpowiadając na zarzut Huygensa (1629—1695), — że można otrzymać wyraźne obrazy w ciemnym pokoju, należy zwrócić uwagę, że taka wyrazistość obrazu możliwa jest jedynie przy dużem natężeniu padającego na soczewkę światła i w ciemnym pokoju, ale nie przy słabej jasności obrazów w lunecie. W jasnem świetle obrazy zakłócające, wytworzone przez promienie brzeżne, będą, jak to łatwo można zobaczyć, całkowicie opromienione przez obrazy, wytworzone przez promienie środkowe o niewielkim błędzie, i staną się w ten sposób niewidocznemi. Jeżeli się jednak przykryje całą soczewkę, zostawiając jedynie mały otwór po brzegach, będzie

można zobaczyć, jak szerokie barwne obwódki będą zacierały i przyciemniały otrzymany obraz."

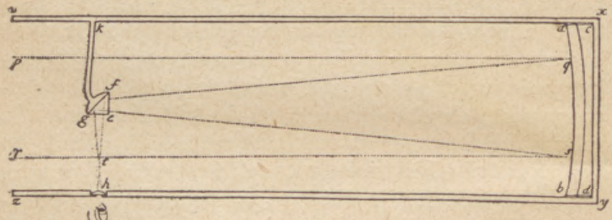
Te właśnie barwne obwódki, nie zaś, jak to powszechnie za przykładem Descartes'a sądzono, kształt kulisty soczewek, są według Newtona główną przyczyną zacierania się wyrazistości obrazów w lunetach. I tego, zdaniem Newtona, w żaden sposób nie da się uniknąć. Coprawda, wobec tego, „że kolejno po sobie następujące załamania, zachodzące w tym samym kierunku, z konieczności wzmacniają swe charakterystyczne odchylenia", jest rzeczą możliwą, „że przeciwnie skierowane załamania będą mogły znosić wzajemnie swe barwne nierówności, i że wtedy ulepszenie refraktorów nie napotka na żadne dalsze trudności". Takie założenia skłoniły go nawet „do wypróbowania układów, złożonych nietylko z samych szkieł, lecz również z różnych środowisk, jak dwa lub więcej szkieł z wodą lub innemi cieczami między niemi, które razem działają jak szkło i mogą bezpośrednio służyć za objektyw lunety. Co się tyczy teoretycznych i doświadczalnych wyników tych badań, to, być może, znajdzie się później lepsza sposobność, aby je przytoczyć". Doświadczenia te, o których żadnych bliższych szczegółów nie mamy, dały jednak wyniki ujemne. Do tego zagadnienia Newton raz jeszcze wrócił w wydanej w 1704 r. „Optyce", opisując zjawiska, zachodzące przy przechodzeniu światła przez pryzmat szklany, umieszczony wewnątrz napełnionego wodą szklanego naczynia pryzmatycznego. Tam też spotykamy to samo twierdzenie, o wiele jednak wyraźniej sformułowane: „Znalazłem, że gdy światło przechodzi z po-

wietrza przez więcej stykających się ze sobą środowisk, jak np. przez wodę i szkło, a następnie znów do powietrza, to światło, o ile na skutek zachodzących w przeciwnych kierunkach załamań odzyska ten sam co poprzednio kierunek i wskutek tego wyjdzie w kierunku równoległym do kierunku padania, pozostanie ostatecznie białem i to bez względu na to, czy płaszczyzny łamiące będą wzajemnie równoległe, czy też pochylone ku sobie.

Gdy jednak promienie wychodzące będą nachylone względem wchodzących, to biel wychodzącego światła będzie po wyjściu w miarę dalszego rozchodzenia się coraz bardziej zabarwiać się na brzegach". Ten oto wniosek, zbyt pospiesznie wyciągnięty z niewielkiej ilości nieprzekonywających doświadczeń, pobudził Newtona do budowy teleskopu zwierciadłowego i upewnił go o wyższości reflektorów nad refraktorami. Pierwszy model, wykonany w 1668 r., nie zadowolnił Newtona. Trudności przy polerowaniu zwierciadła metalowego, niemożność znalezienia odpowiedniego stopu sprawiły, że otrzymywane obrazy nie były dość wyraźne. Trzeba było wytrwałości Newtona i jego niezwykłej zręczności w robotach ręcznych, aby osięgnąć należyte wyniki. Udało mu się to dopiero w 1671 r. Wtedy jednak przyrząd już odpowiadał wszystkim wymaganiom Newtona. Nie bez pewnej dumy stwierdza w swojej „Optyce", że pewien rzemieślnik londyński, który chciał odtworzyć jego teleskop, ale który używał innej metody polerowania, otrzymał wyniki o wiele gorsze, „jak się o tem razu pewnego dowiedziałem z rozmowy z jednym jego robotnikiem, którego on

do tego używał". I niewątpliwie słuszną jest uwaga, którą kończy obszerny wykład metody polerowania zwierciadeł metalowych: „tego rodzaju sztuki polerowania można się lepiej nauczyć przez ciągłą wprawę, niż z mojego opisu", uczyłem się [jej] z wielu prób, aż wreszcie wykonałem dwa teleskopy zwierciadłowe".

Jesienią 1671 r. wykończony całkowicie teleskop wysłał Newton do Londynu w darze królowi Karolowi II. Wynalazek młodego uczonego spotkał się w kołach naukowych londyńskich z ogól-



Ryc. 17. Według „Optyki" Newtona.

nem uznaniem. Na posiedzeniu Towarzystwa Królewskiego w d. 21 grudnia 1671 r. astronom Seth Ward, biskup z Salisbury, postawił wniosek zaliczenia Newtona w poczet członków Towarzystwa; wniosek ten został przyjęty na pierwszem posiedzeniu poświątecznem d. 11 stycznia 1672 r. Uchwałą zgromadzonych postanowiono opis teleskopu wydrukować w organie Towarzystwa „Philosophical Transanctions" oraz przesłać go znakomitemu Huygensowi do Paryża. Newton w liście, adresowanym do sekretarza T-wa Henryka Olden-

burga, dziękował w serdecznych wyrazach za zaszczyt, jaki go spotkał, i zapewniał, „że wdzięczność swoją będzie starał się okazać przez zawiadamianie o wszystkiem, czem jego skromne prace będą mogły przysłużyć się naukowym celom Towarzystwa".

Ta obietnica została spełniona nadspodziewanie prędko. Już bowiem 18 stycznia 1672 r., a więc w tydzień po przyjęciu go na członka T-wa Newton zawiadamiał Oldenburga o rychłem wysłaniu sprawozdania z odkrycia, które z młodzieńczym entuzjazmem i przesadą nazywał „najdziwniejszem, jeżeli nie najważniejszem ze wszystkich dotychczasowych odkryć, dotyczących działań przyrody". Sprawozdanie to, które w parę tygodni potem nadeszło do Londynu, miało tytuł „Nowa teorja światła i barw" (New Theory about Light and Colors), w obszernem zaś objaśnieniu, stanowiącem jakby streszczenie rozprawy, zgóry zapowiadało przeciwstawienie się wszystkim ówczesnym teorjom[1]).

Teorje te zgruba, nie troszcząc się o zbytnią ścisłość, można było podzielić na dwie wielkie

---

[1]) Treść [rozprawy] zawiera jego [Newtona] nową Teorję Światła i Barw: w której jest oświadczone, że Światło nie jest jednakowej natury (Similar) ani jednorodne (Homogeneal), lecz składa się z bezkształtnych promieni, z których pewne są bardziej łamliwe, niż inne: i jest stwierdzone, że barwy nie są Jakościami Światła, wynikającemi z Załamań w Ciałach przyrody (jak to jest powszechnie przyjmowane), lecz Pierwiastkowemi (Original) i Przyrodzonemi (Connate) własnościami, które w różnych promieniach są różne: gdzie wiele obserwacyj i doświadczeń potwierdza wymienioną teorję".

grupy: teoryj, w ten lub inny sposób wywodzących się z fizyki Arystotelesa i w przeciwstawności ciemności i światła szukających wyjaśnienia istoty zjawisk świetlnych, i teoryj, które w oparciu o wywody Galileusza, a zwłaszcza Descartes'a w zjawiskach mechanicznych znajdowały podstawy optyki.

Jeszcze Kepler w „Uzupełnieniach Vitelliona" (Ad Vitellionem Paralipomena), wydanych w 1604 r., pisał, powtarzając prawie dosłownie Arystotelesa, że „różność barw jest uwarunkowana przez różną skłonność (dispositio) materji przezroczystego do światła lub ciemności... i przez różne stopnie ciemności, jakie są związane z materją". W podobny nieco tylko zmodyfikowany sposób wyjaśniał powstawanie barw uczony arcybiskup ze Spalato w Dalmacji, Marek Antoni de Dominis (1566—1624) w dziele, wydanem w 1611 r. i zawierającem pierwsze naukowe objaśnienie powstawania tęczy. „Gdy w ciele znajduje się czyste światło, jak w gwiazdach i ogniu, i gdy ciało z jakiegokolwiek powodu traci swoje iskrzenie, takie ciało wydaje się nam białem. Gdy do światła przymiesza się coś ciemnego, na skutek czego jednak nie całe światło będzie zgaszone, lub natrafi na przeszkody, wtedy powstają barwy. Oto dlaczego ogień nasz jest czerwony, niesie bowiem ze sobą dym, który go zaciemnia... [zjawiska te] wyraźnie występują w podłużnem szkle trójkątnem (in vitro oblongo triangulari). A mianowicie, promień słoneczny, który przenika do szkła blisko kątów (prope angulos), gdzie grubość i wskutek tego nieprzezroczystość jest najmniejsza, wychodzi

szkarłatny (puniceus); następnie idzie zielony z większej grubości; ostatni purpurowy, który nazywamy pawim, z jeszcze większej grubości; stosownie bowiem do grubości nieprzezroczystość wzrasta lub maleje".

Nawet dla fizyka tej miary, co Marcus Marci, odrzucającego poglądy Keplera, jako nie dające się uzasadnić „w prawdziwej filozofji", barwa „jest światłem niedoskonałem" (lux defectuosa), powstającem wtedy, gdy z jakiegokolwiek powodu np. na skutek przejścia do środowiska gęstszego światło ulegnie zgęszczeniu (condensatio): „zgęszczenie [bowiem] jest jakgdyby pewną nieprzezroczystością światła i drogą do zabarwienia".

Tych poglądów, w których światło miało pewne cechy substancji, nie podzielał, jak się zdaje, Galileusz. Tak można sądzić z krótkiego ustępu „Rozmów i dowodów matematycznych", w którym jest mowa o świetle. Sagredo zapytuje, czy jest rzeczą możliwą wyobrazić sobie, aby takim działaniom, jak działanie promieni słonecznych, które mogą w zwierciadle parabolicznem topić nawet metale, nie towarzyszył ruch. Salviati odpowiada, że co do niego, to nie mógłby się zgodzić, aby „działanie światła, choćby najczystszego, zachodziło bez ruchu." Żadnej jednak rozwiniętej teorji optycznej Galileusz nie podał, wobec czego za pierwszego twórcę mechanicznej teorji światła należy uważać nie jego, lecz Kartezjusza. Wyłożona w „Dioptryce", „Meteorach", „Zasadach filozofji" i wreszcie w wydanej już po jego śmierci pracy „Świat czyli rozprawa o świetle" (Mundus sive Dissertatio de Lumine), łączy się ona ściśle

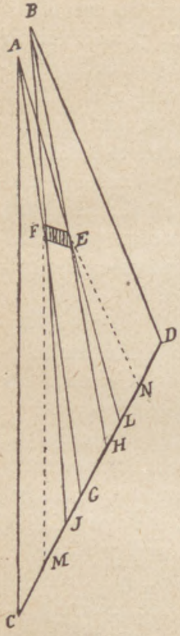
z jego kosmogonicznemi poglądami, o których mowa była już wyżej (rozdział drugi). Światło nie jest niczem innem jak przejawem prawa natury, które sprawia, że wszystkie ciała, poruszające się po kole, usiłują oddalić się (recedere conantur) od środka swego ruchu Na tej jedynie sile „usiłowania oddalenia" się kulek drugiego żywiołu polega światło. „Gdy mówię, że kulki drugiego żywiołu usiłują oddalić się od środków, koło których się obracają, nie należy myśleć, że przypisuję im jakikolwiek ruch..., lecz, że są one tak umieszczone i tak pobudzane do ruchu, że istotnie poszłyby w tym kierunku, gdyby im nie przeszkadzała żadna inna przyczyna". Przeszkoda ta jednak istnieje: wobec nieistnienia próżni kulki drugiego żywiołu nie mogą zająć innego miejsca. „... Siła [przeto] światła nie polega na jakiemkolwiek trwaniu ruchu, lecz tylko na ciśnieniu lub pierwszem przygotowaniu do ruchu, chociaż może ruch z niego nie powstać. Stąd jasno wynika, jakim sposobem to działanie, które uważam za światło, przenika (diffundat) jednostajnie od słońca lub ciała jakiejkolwiek gwiazdy stałej we wszystkie strony i dosięga dowolnych odległości w najmniejszym przeciągu czasu (in minimo temporis momento); i przytem wzdłuż linij prostych, przeprowadzonych nietylko z samego środka ciała świecącego, lecz z jakichkolwiek innych punktów jego powierzchni". W ziemskich ciałach świecących ciśnienie to wywoływane jest przez ruch cząstek pierwszego żywiołu, „o wiele szybszy od ruchu żywiołu drugiego." Barwy przyczynę swą mają w tych zmianach, jakie do owych „usiłowań

ruchu" wprowadzają ciała, które światło napotyka na swej drodze. Zetknięcie się z powierzchnią graniczną nadaje ciałku „świetlnemu" ruch obrotowy, silniejszy w tej części promienia, która pierwsza zetknie się z danem ciałem, najsłabszy w części, która tego zetknięcia dozna później. Wrażenie światła, jakiego doznajemy, zależy nietylko od ciśnienia, stanowiącego istotę światła, lecz również od prędkości ruchu obrotowego. Największej prędkości odpowiada wrażenie światła czerwonego, najmniejszej fioletowego.

Z podobnych do kartezjuszowskich założeń wychodziły również teorje Grimaldiego i Hooke'a.

Rozważania Franciszka Marji Grimaldiego (1613—1663), ogłoszone w dziele, wydanem już po śmierci autora (1665 r.) p. t. „Fizyko-matematyka o świetle, barwie i tęczy, i innych pokrewnych, ksiąg dwie" (Physico-Mathesis de lumine, coloribus et iride, aliisque adnexis libri duo), były wynikiem wytrwałych i sumiennych badań, wykonywanych w ciszy klasztoru jezuitów przez pobożnego i skromnego zakonnika. Vixit inter nos sine querela — żył między nami, unikając sporów — napiszą mu na nagrobku wdzięczni konfratrzy.

Pewnego dnia, badając za przykładem Marka Marci obraz, jaki tworzy na białej ścianie pęk światła, wpadający do ciemnego pokoju przez mały otwór w okiennicy, zauważył zjawisko, które go niezmiernie zdziwiło. Oto cień i półcień, wytwarzany na ścianie przez nieprzezroczysty przedmiot *EF*, był znacznie większy, niżby to wynikało z zasad prostolinjowego rozchodzenia się światła; zamiast sięgać punktów *J* i *L* dochodził do



Ryc. 18.

punktów *M* i *N*, położonych nieco dalej. Podobne odchylenie światła od początkowego kierunku — jego uginanie — występowało wyraźnie i wtedy, gdy światło, wchodzące przez otwór do pokoju, padało nie bezpośrednio na ścianę, lecz jeszcze raz przechodziło przez drugi otwór. Niedość na tem: na oświetlonych częściach *MC* i *ND* można było zauważyć pewne pasy zabarwionego światła. Środek tych pasów, z których pierwszy, leżący najbliżej cienia, jest najwęższy, ostatni przy *C* lub *D* — najszerszy, był zupełnie biały; zabarwione tylko jego brzegi: na niebiesko te, które były zwrócone ku cieniowi, a więc ku *M* lub *N*, na czerwono — zwrócone ku *C* i *D*. Pasy te były równoległe do cienia: proste, gdy ciało, rzucające cień, było ograniczone płaszczyznami, krzywe, gdy granice cienia były linjami krzywemi. W silnem świetle słonecznem takie barwne pasy powstawały nawet wewnątrz cienia, symetrycznie po obydwu jego stronach.

Stąd Grimaldi wyciągnął wniosek, że wbrew dotychczasowym poglądom „światło może rozchodzić się lub przenikać nietylko bezpośrednio lub przez załamanie (refracte) czy odbicie (reflexe), lecz również na czwarty sposób przez ugięcie (dif-

fracte)". To jednak jest możliwe tylko w tym przypadku, gdy założymy, że „światło... jest pewną cieczą, która niezwykle szybko i przynajmniej niekiedy falowo (undulatim) przepływa przez ciała przezroczyste". Własności bowiem cieczy nie różnią się od własności światła. I tu i tam w ten sam sposób zachodzi odbicie, uginanie i falowanie. „Tak, jak wtedy, gdy rzuci się kamień do wody, tworzą się koło punktu środkowego kołowe wzniesienia wody, zupełnie tak samo powstają te świecące pasy koło cienia nieprzezroczystego przedmiotu... I tak, jak te kołowe fale są jedynie nagromadzoną wodą, po której obydwu stronach ciągnie się brózda, te świecące pasy nie są niczem innem, jak samem światłem, które na skutek gwałtownego rozproszenia rozkłada się nierównomiernie i jest podzielone zacienionemi przerwami... Światło przeto rozchodzi się takim samym ruchem falowym, jaki jest właściwy cieczom."

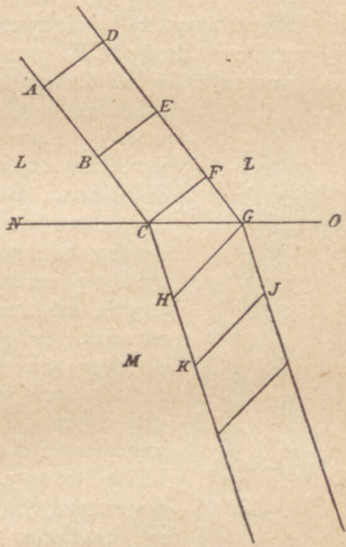
Można też porównać światło z głosem: „Jak ucho czuje dźwięk na skutek pewnego drżenia, wywołanego uderzeniem ciała dźwięczącego i rozchodzącego się przez całe środowisko aż do ucha słuchacza, tak oko odczuwałoby światło... na skutek wzbudzonego poruszania wymienionej substancji, przenikającej środowisko przezroczyste". Z tego punktu widzenia barwę należy uważać za związaną ze zmianą poruszania się (agitatio) światła. „Jest więc wieloraki sposób i przyczyna omawianego zabarwienia w świetle, wielorako bowiem zachodzić w niem może zmiana poruszania". Dowodzą tego te wszystkie przypadki, w których światło staje się barwnem, jak załamanie, uginanie

i nawet odbicie. Gdy światło, odbite od gęsto porysowanej powierzchni, pada w ciemnym pokoju na białą ścianę, można wyraźnie stwierdzić powstawanie w niem barw. To zjawisko, po raz pierwszy wtedy właśnie odkryte, uważa Grimaldi za najważniejsze poparcie swej teorji: bezpośrednie jakby stwierdzenie, że barwy nie są domieszką, jakiej udzielają światłu ciała przeroczyste, lecz zmianą, zachodzącą w samem świetle.

W tym samym roku, co praca Grimaldiego, ukazało się wspomniane już wyżej obszerne dzieło Hooke'a p. t. „Micrographia", które poza opisem różnych doświadczeń i spostrzeżeń, jakich można dokonać przy pomocy mikroskopu, zawierało również pierwszy systematyczny rozbiór barw, powstających w cienkich płytkach lub cienkich warstewkach powietrza. Pierwsze już doświadczenia przekonały Hooke'a, że żywe barwy, jakie z łatwością można zauważyć na cienkich płytkach lub bańkach mydlanych, otrzymać można również, biorąc inne przezroczyste ciała, zarówno stałe, jak i ciekłe, byleby grubość płytki lub ciekłej warstewki nie przewyższała pewnej oznaczonej granicy: zbyt cienkie lub zbyt grube nie wykazują żadnych barw. „Nie jest przytem rzeczą konieczną, aby te zabarwione płytki były wszędzie tej samej grubości, a więc żeby miały po brzegach i w środku równą grubość, jak w szybach (looking-glass-plate), która to okoliczność jest wymagana jedynie poto, aby cała płytka ukazywała się w tej samej barwie; ale może przypominać soczewkę, to znaczy, być w środku grubszą, niż po bokach, lub w podwójnej wklęsłości, to znaczy, być cieńszą w środku, niż po bokach; w oby-

dwu przypadkach będą różnie zabarwione pierścienie lub linje z różną kolejnością lub porządkiem barw; porządek w pierwszym przypadku będzie taki: od środka poczynając czerwona, żółta, zielona, niebieska i t. d. W drugim zaś przypadku zupełnie odwrotny."

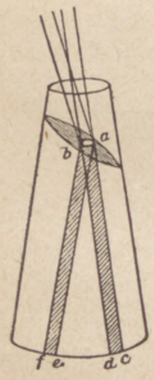
Dla objaśnienia tych barw Hooke w odpowiedni sposób zmienia i uzupełnia teorję Descartes'a, w pierwotnej postaci całkowicie nie nadającą się do objaśnienia tych zjawisk, których perjodyczność Hooke przenikliwie zauważył i należycie ocenił. „Ruch światła, według niego, rozchodzi się w jednorodnem środowisku, w którem światło powstało, prostemi jednostajnemi uderzeniami lub falami, tworzącemi kąt prosty z linją ich kierunku." Niech *AC* i *DG* będą promieniami świetlnemi, *AD*, *BE*, *CF* będą odpowiadały małym wycinkom z fali kołowej, tworzącym w myśl poprzedniego kąty proste z promieniami. Gdy promień *AC* padnie na powierzchnię ciała łamiącego i przybliży się do pio-



Ryc. 19.

nu, będzie to oznaczało, jak Hooke przyjmuje za Kartezjuszem, że środowisko łamiące okazuje mniejszy opór rozchodzeniu się światła. Wtedy część fali, bliska punktu C, poruszać się będzie z większą prędkością, niż część fali przy F, a więc wyprzedzi ją.

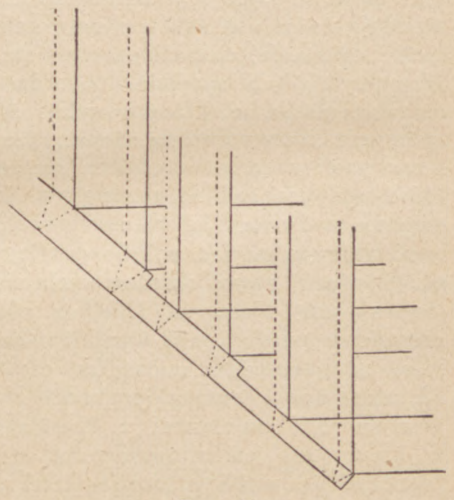
Przypuśćmy, że w danym odstępie czasu punkt *C* przebiegł drogę *CK*, punkt *F* — drogę *FI*. Fala tworzyć będzie teraz kąt ostry z promieniem i będzie mogła stać się zabarwioną, wtedy mianowicie, gdy albo jej przednia część albo tylna zostanie osłabiona. Dla wyjaśnienia, jaka barwa powstaje w pierwszym lub drugim przypadku, Hooke obmyśla następujące doświadczenie. Do naczynia szklanego, w którem umieszczona jest pokrywka z niewielkim otworem *ab*, wlano wodę. Gdy skierujemy pochyło na otwór przykrywki pęk promieni słonecznych, na dnie naczynia *c d e f* zauważymy tęczę, której barwy, według Hooke'a nie dopuszczającego zgodnie z ówczesną tradycją możliwości istnienia wielu barw, składają się z dwu barw zasadniczych: szkarłatu *(cd)*, przechodzącego następnie w barwę żółtą i ciemnego błękitu *(ef)*, przechodzącego w jasny błękit i dającego razem z czerwienią barwę zieloną. Skrajnemi promieniami, odgraniczającemi wiązkę światła od otaczającej ją ciemności, są niebieski i czerwony. Fale im odpowiadające tworzą zgodnie z wyżej przytoczonem rozumowaniem, kąty



Ryc. 20.

ostre z kierunkiem promieni; fale te jednak różnią się zasadniczo. Fala czerwieni graniczy z zewnątrz z ciemnością, wewnętrzna zaś jej strona styka się z dalszą częścią wiązki światła. Ciemność osłabia przylegającą, a więc tylną część fali, której część przednia zmian żadnych nie doznaje. Odwrotnie rzecz się ma z falą promienia *bf*: tam przednia część fali doznaje osłabienia. W pierwszym przypadku otrzymujemy barwę czerwoną, w drugim niebieską. Tę teorję zastosował Hooke do wyjaśnienia barwy cienkich warstewek.

Część promienia, padającego na warstewkę przezroczystą, odbija się od jej przedniej powierzchni, część zaś wchodzi do jej wnętrza i dopiero po odbiciu się od tylnej powierzchni i załamaniu na powierzchni przedniej wychodzi nazewnątrz, równolegle do części, odbitej odrazu. Ponieważ dwukrotne przejście przez warstewkę będzie wymagało czasu, ta część druga, słabsza, niż



Ryc. 21.

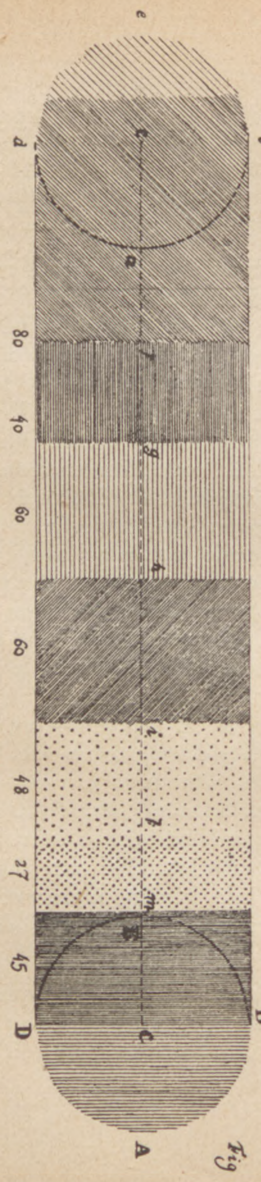
pierwsza, będzie w porównaniu z nią nieco opóźniona. Jeżeli opóźnienie nie będzie zbyt wielkie, oko będzie miało wrażenie jednej fali, której częścią mocniejszą jest jej część przednia, a więc wrażenie fali światła czerwonego. Jeżeli opóźnienie jest większe (przy większej grubości warstwy), wtedy może się zdarzyć, że oko będzie uważało za jedną falę część słabszą promienia pierwszego i nieco później dochodzącą do oka część silniejszą (odbitą odrazu) promienia następnego. Wtedy otrzyma wrażenie światła niebieskiego. Zmienność barw warstwy o zmiennej grubości staje się przeto oczywistą.

Od tych poglądów znacznie były prymitywniejsze poglądy Barrowa, wyłożone przez niego obszernie w „Optyce". „Ciałami białemi są te, które wysyłają światło o równem natężeniu we wszystkich kierunkach, ciałami czarnemi te, które światła nie wysyłają lub wysyłają go bardzo mało; ciałami czerwonemi są te, które wysyłają światło o większem niż zazwyczaj natężeniu, lecz przerywane szczelinami ciemnemi; ciałami niebieskiemi są te, które wysyłają światło rozrzedzone lub które składają się z drobin białych i czarnych, rozmieszczonych naprzemian jedna koło drugiej; ciała zielone przypominają swym składem ciała niebieskie; żółta (barwa) jest mieszaniną bieli z niewielką ilością czerwieni; purpura jest wynikiem dużej ilości błękitu, pomieszanej z niewielką cząstką czerwieni. Błękitna barwa morza pochodzi z bieli zawartej w niem soli, zmieszanej z czernią wody czystej, w której sól jest rozpuszczona..." Należy przypuszczać, że w owym czasie (1669 r.) były to również poglądy Newtona, wiadomo bowiem, jak czynny

udział brał w redagowaniu „Optyki" Barrowa i jak wielu ustępów był współautorem. W „Nowej teorji światła i barw" nie pozostało z nich ani śladu. Zerwanie z niemi było całkowite i ostateczne.

„W 1666 r., tak rozpoczyna Newton swoją rozprawę, zajmowałem się szlifowaniem szkieł optycznych innego kształtu, niż kulisty, wystarałem się również o trójścienny pryzmat szklany, aby zbadać w ten sposób słynne zjawiska barwne. W tym celu zaciemniłem swój pokój, wyciąłem w okiennicy mały okrągły otwór, aby mogła przez niego przechodzić odpowiednia ilość światła słonecznego, i ustawiłem tak pryzmat swój za otworem, że światło załamywało się na przeciwległej ścianie. Początkowo było dla mnie przyjemną rozrywką widzieć, jak w tych warunkach powstawały żywe i silne barwy; gdy po pewnym czasie zacząłem je badać uważniej, zdziwiłem się, że kształt ich był podługowaty, jakkolwiek według przyjętych praw załamania powinien był być okrągły. Barwy były na długich bokach ograniczone linjami prostemi; na końcach światło zmniejszało się stopniowo tak, że trudno było wyznaczyć postać obrazu; wydawało się jednak, że jest tam ona półkolista. Przy porównywaniu długości barwnego widma z jego szerokością znalazłem, że długość jego jest pięć razy większa od szerokości, a więc tak wielką nierówność, że ogarnęło mnie żywe pragnienie zbadania przyczyny tego zjawiska."

Badania wpływu wielkości otworu okiennicy, grubości tej części pryzmatu, przez którą przechodziło światło, umieszczania pryzmatu przed i za



Ryc. 23. Według s'Gravesande'a.

otworem nie dały żadnych wyników. „Kształt barw był we wszystkich przypadkach ten sam."

„Pozostawała jeszcze jedna wątpliwość, czy rozciągnięcie się barw nie pochodzi z nierówności szkła lub z innych przypadkowych nieprawidłowości. Aby to rozstrzygnąć, umieściłem drugi pryzmat, zupełnie równy pierwszemu, tak poza nim, że światło przełamywało się w obydwu pryzmatach w sposób przeciwny, przez ostatni więc było zpowrotem nachylane w tym kierunku, od jakiego pierwszy pryzmat je odchylał: przypuszczałem, że przy takim układzie prawidłowe działania pierwszego pryzmatu będą przez drugi pryzmat zniesione, nieprawidłowe zaś wzmożone. Wynik był taki, że światło, które przez pierwszy pryzmat zostało

rozciągnięte w kształt podłużny, przez drugi zostało zpowrotem sprowadzone do kształtu kołowego, jakgdyby światło wogóle nie przechodziło przez pryzmat; jakakolwiek więc tedy mogła być przyczyna wydłużenia, nie mogły nią być jakieś przypadkowe nieprawidłowości szkła".

Dokładne pomiary długości i szerokości widma, otrzymanego w takiem położeniu pryzmatu, „przy którem załamania na obydwu ścianach pryzmatu t. j. promienia padającego i wychodzącego były mniej więcej... równe", dały wyniki następujące. Wielkość kątowa szerokości widma wynosiła dokładnie 31′ [1]), a więc tyle, ile wynosi kąt, pod którym obserwator ziemski widzi tarczę słoneczną. Jasne więc było, że szerokość ta uwarunkowana jest różnem nachyleniem padających na pryzmat promieni słonecznych. Różnicy kątów padania promieni skrajnych, pochodzących z dwu przeciwległych stron tarczy słonecznej, odpowiada taka sama różnica kątów załamania. Do długości jednak objaśnienia tego nie można było zastosować; odpowiadała ona bowiem kątowi przeszło pięć razy większemu, a mianowicie 2°49′ [2]).

Aż do tego miejsca rozprawa Newtona nie wnosiła nic nowego. Fakty, które przytacza, pomiary, które przeprowadza, były jeszcze w 1648 r. podane do publicznej wiadomości przez wspomnianego już praskiego uczonego Jana Marka Marci (1595—1667) w dziele, zatytułowanem „Thauman-

---

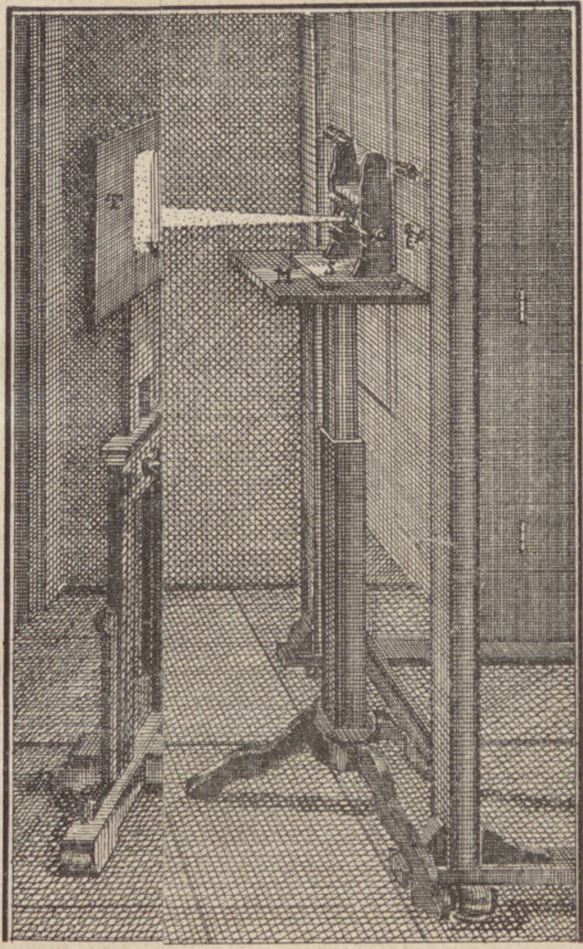
[1]) Szerokość ta była równa $2^3/_8$ cala, przy odległości od pryzmatu 22 stóp.

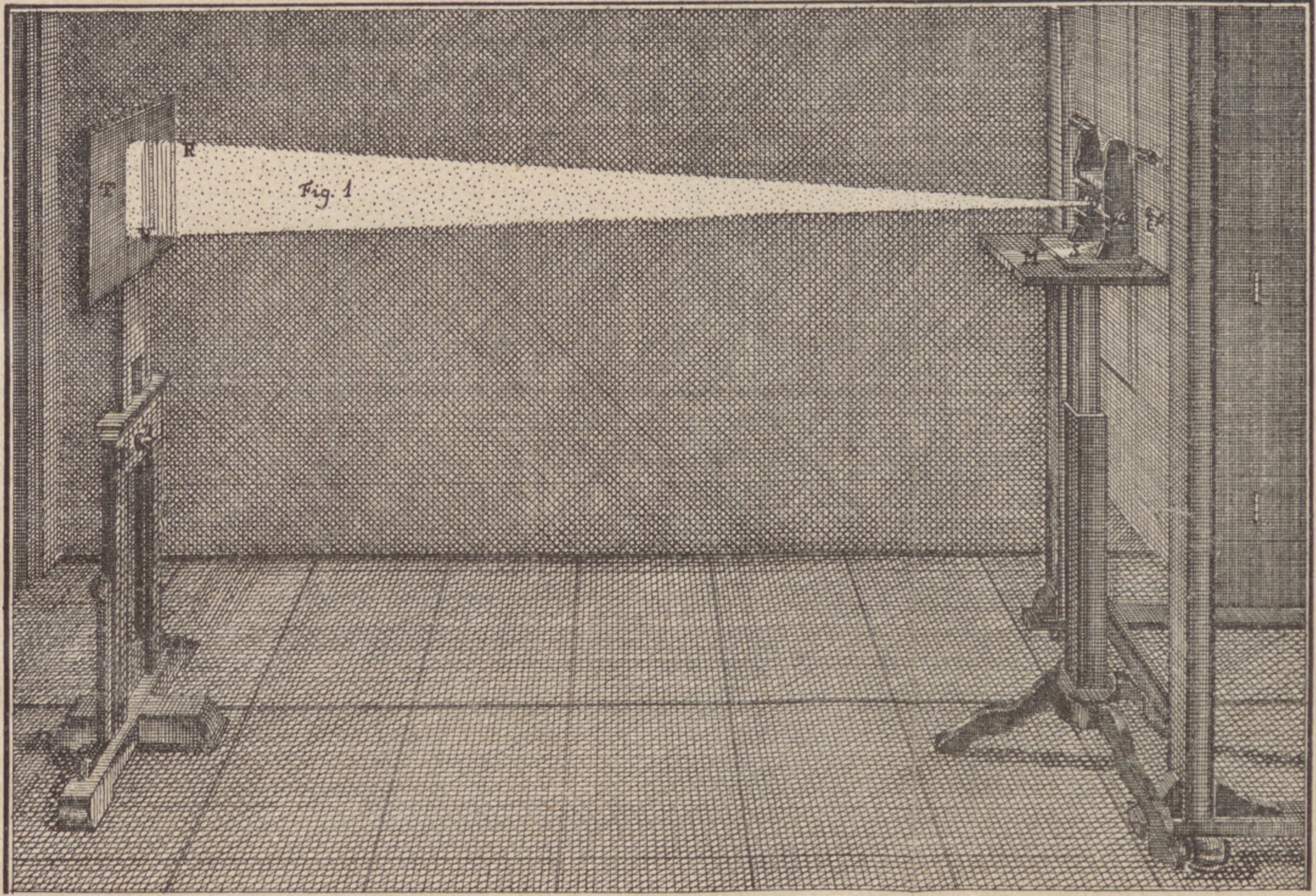
[2]) Długość wynosiła 13 cali.

tias[1]), księga o łuku niebieskim, jak również istocie, miejscu i przyczynach pojawiania się barw". Fizykowi praskiemu znany był nietylko ten fakt, w którego stwierdzenie tyle trudu włożył Newton, że „promienie zabarwione przy wyjściu z trójkąta (in egressu Trigoni) bardziej się rozchodzą", jak to „stwierdza doświadczenie" (constat experientia), lecz i wiele innych faktów, które Newton podaje w dalszej części swej pracy, nic zresztą nie wspominając o swym poprzedniku. Marek Marci wiedział, że „światło zamienia się w barwy na skutek pewnego załamania w środowisku gęstem: różne rodzaje barw są częściami o różnem załamaniu", że „ta sama barwa nie może być różnego załamania, ani też różne barwy o załamaniu tem samem", że dalej „odbicie, jakiego doznaje promień zabarwiony, nie zmienia rodzaju barwy", podobnie, jak i załamanie, któremu może być promień taki poddany.

Wnioski jednak, jakie Marcus Marci wyprowadzał ze swoich niezwykle pomysłowych i starannych doświadczeń, nie mogły się ostać przy pierwszem skonfrontowaniu z odkrytemi przez Descartes'a prawami załamania światła, których, zdaje się, Marcus Marci wcale nie znał. Przypuszczał on, że powstawanie barw zależy od wielkości kąta padania: najmniejszy kąt powoduje powstanie barwy czerwonej, największy — fioletowej; wyraz więc załamanie, przez niego używany, nie odpowiada, jakby to można było sądzić, spółczynnikowi załamania — pojęciu zupełnie mu nieznanemu — lecz wiel-

[1]) Od grec. thaumadzō = dziwię się, podziwiam.





Ryc. 22. Według s'Gravesande'a.

kości kąta załamania. Widmo słoneczne powstaje stąd, że kąty padania promieni, pochodzących z różnych części tarczy słonecznej, są różne. Ta oto różnica, wynosząca, jak o tem była mowa, w najlepszym przypadku 31′, wystarcza, aby wytworzyć całą gamę barw widma słonecznego. Z tą przypadkowością powstawania barw nie bardzo się godziła stwierdzona przez fizyka praskiego trwałość zachowania się danej barwy, której ani odbicie ani powtórne załamanie zmienić już nie mogło. Na trwałość tę, jako wyróżniającą cechę danej barwy, zapewniającą jej swego rodzaju indywidualność, Marcus Marci należytej uwagi nie zwrócił. Ocenił ją i wagę jej zrozumiał Newton, który zaraz w następnem po przytoczonych wyżej doświadczeniu obalił bezpowrotnie wyjaśnienia Marka Marci i nieoznaczonemu pojęciu łamliwości danej barwy dał treść wyraźną, pozwalającą uznać ją za objektywną, fizyczną cechę, odróżniającą jedną barwę od drugiej

Doświadczenie to, słusznie przez Newtona nazwane rozstrzygającem, krzyżowem (experimentum crucis), było wykonane w sposób następujący: „Wziąłem dwie tablice, z których pierwszą umieściłem tuż za pryzmatem przy okiennicy tak, że światło mogło przechodzić przez mały otwór w tablicy i padać na drugą tablicę, która stała o dwanaście mniej więcej stóp za pierwszą i również posiadała mały otwór do przechodzenia padającego na nią światła. Za tą drugą tablicą znów umieściłem pryzmat, przez który musiało przechodzić to światło, które przeszło przez otwory w obydwu tablicach, tak, że zanim doszło do

ściany, było jeszcze raz przełamane. Następnie wziąłem pierwszy pryzmat w rękę i obracałem go powoli około jego osi tam i zpowrotem, aby wszystkie różne części obrazu przeszły kolejno przez otwór drugiej tablicy; mogłem wtedy zauważyć, na jakie miejsca ściany załamie je drugi pryzmat. W ten sposób zobaczyłem, że światło, które po załamaniu w pierwszym pryzmacie było skierowane ku końcowi obrazu, doznało w drugim pryzmacie o wiele silniejszego załamania, niż światło, które leżało na drugim końcu obrazu. I tak ujawniło się, że prawdziwą przyczyną wydłużenia obrazu nie jest nic innego, jeno to, że światło nie jest jednakowej natury lub jednorodne, lecz składa się z różnych promieni, z których jedne są mniej, inne więcej łamliwe, tak że bez jakiejkolwiek różnicy w kącie padania[1]) jedne są w tem samem środowisku bardziej załamywane, niż inne, i z tego to powodu zależnie od różnych stopni swej łamliwości idą promienie poprzez pryzmat do różnych części przeciwległej ściany".

To znakomicie obmyślane doświadczenie pozwala na wysnucie wniosku, który Newton umieszcza na pierwszem miejscu z pomiędzy trzynastu, nierównej zresztą wagi, twierdzeń, do jakich doszedł, badając powstawanie barw. „Podobnie, jak promienie świetlne różnią się stopniem swojej łamliwości, różnią się też zdolnością wytwarzania tej lub innej szczególnej barwy. Barwy nie są, jak powszechnie mniemają, zmianami, jakich światło

---

[1]) Podkreślenie nasze.

doznaje przez załamanie lub odbicie od ciał przyrody, lecz pierwiastkowemi i przyrodzonemi własnościami, które różne są w rozmaitych promieniach. Pewne promienie są zdolne wykazywać barwę czerwoną i żadną inną, pewne promienie żółtą i żadną inną, pewne zieloną i żadną inną itd.; i nietylko istnieją promienie, należące do głównych barw, lecz również poszczególne promienie, należące do wszystkich leżących między niemi stopniowań". Z tego podstawowego wniosku wynikają inne, więc przedewszystkiem, że łamliwość jest cechą, pozwalającą objektywnie odróżniać barwy.

„Do tego samego stopnia łamliwości należy zawsze ta sama barwa i odwrotnie". „Ta analogja między barwami i łamliwością jest tak dokładna i pewna, że promienie są ściśle zgodne pod obydwoma względami albo też równomiernie co do nich się różnią". Tem się tłumaczy fakt, że ani odbijanie, ani załamanie, ani przechodzenie przez „cienkie zabarwione warstwy powietrza, które ukazują się między dwiemi przyciśniętemi wzajemnie płytkami szklanemi", lub przez środowiska zabarwione nie może im nadać innej barwy, „niż ta, która była im od początku właściwa." Mogą być „żywsze lub bardziej przytłumione i przy utracie wielu promieni nawet zupełnie ciemne, nigdy jednak nie mogłem w nich zauważyć jakiejkolwiek zmiany". Bywają jednak przypadki, gdy następuje zmiana barwy; wtedy mamy do czynienia z mieszaniną promieni różnego rodzaju. „Wobec tego musimy odróżniać dwa rodzaje barw; jedne, które są podstawowe i proste, i inne, które

są z nich złożone. Zasadniczemi lub pierwotnemi barwami są czerwona, żółta, zielona, niebieska i fioletowopurpurowa, również jak pomarańczowa, indygo i nieskończona rozmaitość leżących między niemi odcieni". Ale te barwy mogą też czasami powstać przez zmieszanie. „Tak mieszanina żółtej i niebieskiej daje zieloną, czerwonej i żółtej pomarańczową, pomarańczowej i żółtawo zielonej daje żółtą. Tylko te barwy, które są w obrazie zbyt od siebie oddalone, nie dają żadnych barw pośrednich; pomarańczowa i indygo nie mogą wytworzyć leżącej pomiędzy niemi barwy zielonej, szkarłatnoczerwona i zielona nie mogą dać żółtej".

„Najbardziej jednak zadziwiającem i cudownem składaniem barw jest to, które daje światło białe. Niema takiego rodzaju promieni, któreby same mogły je wytworzyć, jest ono zawsze złożone i do jego odtwarzania należą zawsze wszystkie wyżej wymienione barwy w należytym stosunku. Często widziałem ze zdziwieniem, jak wszystkie barwy pryzmatyczne, gdy były zamienione na zbieżne i znów ze sobą tak zmieszane, jak w świetle przed przejściem przez pryzmat, na nowo wytwarzały zupełnie czyste, doskonale białe światło, które wtedy tylko różni się znacznie od bezpośredniego światła słonecznego, gdy szkła użyte nie są zupełnie czyste i wolne od zabarwienia".

„To jest przyczyną, dlaczego biel jest zwykłą barwą światła. Światło bowiem jest splątaną gromadą (aggregat) promieni wszystkich rodzajów barw, tak jak je zmieszane wyrzucają różne części świecącego ciała. Taka splątana gromada wy-

daje się białą, gdy składniki są w należytym stosunku, gdy jednak który z nich przeważa, wtedy musi światło przechylać się ku odpowiedniej barwie, jak to zachodzi w błękitnym płomieniu siarki, żółtym świecy i w przypadku różnych barw gwiazd stałych".

Na tej drodze można wyjaśnić rozmaite zjawiska, w których mamy do czynienia z barwami, jak np. barwy tęczy, szkła barwionego, listków złotych i t. p., co więcej można nawet rozstrzygnąć pytanie, „czy barwy istnieją w ciemności i czy są własnościami przedmiotów, które widzimy, lub też czy, być może, światło samo jest ciałem". W jaki bowiem sposób poznajemy ciało? Przez jego własności dostępne zmysłom. A skoro „podstawę barw znaleźliśmy nie w ciałach, lecz w świetle, mamy dobrą zasadę uważać światło za substancję".

To założenie, które zczasem zaważy na rozwoju nietylko fizyki, lecz nawet i może przedewszystkiem chemji, i które Newton będzie niejednokrotnie zmieniał, uzupełniał, aby je z całą stanowczością jeszcze raz wypowiedzieć w swej „Optyce", autor odrazu osłabia, jakby w obawie, że zbyt daleko się posunął, następującą uwagą: „Nie jest jednak rzeczą łatwą wyznaczyć w sposób bardziej bezwzględny, czem jest światło, w jaki sposób się załamuje i jakie sposoby lub działanie wywołują w naszym umyśle wrażenia barw; a nie chciałbym łączyć przypuszczeń z tem, co jest pewne". Być może zresztą, że ta wstrzemięźliwość wynikała z nieudania się próby „bardziej bezwzględnego" wyznaczenia istoty barw

i światła. Próba ta polegała na doświadczalnem sprawdzeniu tej części teorji Descartes'a, w której różnice barw są przypisywane różnicom ruchu obrotowego „ciałek świetlnych".

„...Zacząłem podejrzewać, czy promienie świetlne nie poruszają się po przejściu przez pryzmat wzdłuż linij krzywych i czy w zależności od mniejszej lub większej krzywizny nie biegną ku różnym częściom ściany. To podejrzenie wzrosło, gdy przypomniałem sobie, jak według moich wielokrotnych spostrzeżeń piłka tennisowa, uderzana ukośną rakietą, zawsze opisuje taką linję krzywą. Piłce bowiem uderzenie nadaje nietylko ruch postępowy, lecz i obrotowy; części jej więc po tej stronie, gdzie obydwa ruchy się dodają, bardziej cisną i uderzają otaczające powietrze, niż po stronie przeciwnej, i tym sposobem wywołują większy opór. Z tych samych względów mogłyby również promienie świetlne, które, być może, składają się z kulistych ciałek i przy skośnem przejściu z jednego środowiska do drugiego wprawiane są w ruch kołowy, doznawać od otaczającego eteru większego oporu z tej strony, gdzie obydwa ich ruchy są jednakowo skierowane i w ten sposób stopniowo odchylać się od swego ruchu prostolinjowego ku stronie przeciwnej. Ale, mimo tych prawdopodobnych założeń, nie mogłem zauważyć żadnego zakrzywienia promieni. Różnica między długością obrazu a średnicą otworu, przez który przechodziło światło, była proporcjonalna do ich odległości, i ten dowód był dla mnie wystarczający".

Była to, zdaje się, jedyna próba. Żadnych wysiłków w celu uzgodnienia wyników doświadczeń

z ówczesnemi teorjami Newton nie robił. Miał już wtedy swoją własną teorję, której rysy zasadnicze pozostały w „Optyce" takiemi samemi, jakiemi były w „Nowej teorji światła".

Praca Newtona została odczytana na posiedzeniu Towarzystwa Królewskiego d. 8 lutego 1672 r., gdzie wywarła głębokie wrażenie. Uchwalono wydrukować ją w najbliższym numerze „Philosophical Transactions" i powołano komisję do bliższego rozpatrzenia jej treści. W skład komisji weszli: nestor angielskich przyrodników Robert Boyle, doskonały znawca ówczesnych teoryj optycznych, które krytycznie rozpatrzył w rozprawie, ogłoszonej w 1665 r., „Doświadczenia i rozważania o barwach" (Experimenta et considerationes de coloribus), wspomniany już wyżej biskup Seth Ward i wreszcie Hooke.

Hooke był wtedy u szczytu sławy. Ruchliwość jego umysłu, umiejętność ogarniania rozległych dziedzin wiedzy, czego dowody niepospolite dał w „Mikrografji", były powszechnie znane i cenione. One to spowodowały powierzenie mu przez Towarzystwo Królewskie ważnego urzędu „opiekuna doświadczeń" (curator of experiments), obowiązanego wybierać z nadsyłanych opisów doświadczeń takie, któreby były godne przedstawienia T-wu Królewskiemu, i wykonywać je na posiedzeniach T-wa. W tym charakterze Hooke musiał z konieczności zetknąć się z pracami Newtona. To zetknięcie, które miało w tragiczny sposób zaważyć na życiu i Newtona i Hooke'a, wtedy właśnie po raz pierwszy nastąpiło.

Na następne posiedzenie T-wa d. 15 lutego, na cztery więc dni przed ukazaniem się w druku „Nowej teorji barw i światła" (zeszyt „Philosophical Transactions", w którym rozprawa ta została ogłoszona, ma datę 19 lutego), Hooke miał już sprawozdanie gotowe. Rozpoczynały je wielkie pochwały dokładności doświadczeń Newtona, których wyniki Hooke uważa za bezsporne. To też tej części rozprawy Newtona Hooke żadnych zarzutów nie stawia. Zwraca jedynie uwagę na wnioski, wysnute przez Newtona co do istoty barw i światła. Wnioski te, według Hooke'a, bynajmniej z doświadczeń Newtona nie wynikają. Równie dobrze mogłyby je objaśnić dawniejsze teorje. Szczególne zastrzeżenia budzi w nim założenie nieskończonej ilości barw. Jeżeli bowiem światło jest substancją, to czyż można przypuszczać, że substancyj tych jest nieskończona mnogość, odpowiadająca nieskończonej mnogości barw? Czyż nie prościej przypuścić, jak to czynili wcześniejsi od Newtona zwolennicy substancjalności światła, że barwy wynikają z niejednakowego zgęszczenia światła? Dalej, co znaczy twierdzenie Newtona, że wszystkie barwy są od początku zawarte w zwykłym promieniu świetlnym. Brzmi to tak, jakgdyby ktoś powiedział, że wszystkie tony rur organowych są już zawarte w powietrzu, znajdującem się w miechach. Czyż nie słuszniejszą jest teorja Hooke'a podana w „Mikrografji", że barwy powstają ze zmian przypadkowych, jakie zachodzą w ruchu światła. Ta teorja, jak o tem Newton sam łatwo się może przekonać, objaśnia wszystkie zjawiska, którym towarzyszy powstawa-

nie barw, nietylko doświadczenia z pryzmatem. Ale nawet, jeżeli się przyjmie założenie Newtona, że światło jest ciałem, to i wtedy trudno będzie pojąć, w jaki sposób wszystkie barwne ciała wszechświata mogłyby razem dać ciało białe, jak to wynika z założeń Newtona. Hooke bardzo byłby rad, gdyby mógł kiedy zobaczyć takie doświadczenie. Wobec tego Hooke uważa teorję Newtona za pomysłową hipotezę wyjaśnien a zjawisk barwnych, przeczy jednak, aby była jedynie możliwą i całkowicie bezsporną.

To sprawozdanie, w którem najważniejszą część pracy Newtona zbył Hooke kilku nic nie znaczącemi pochlebnemi ogólnikami, było, zdaje się, dość chłodno przyjęte przez członków Towarzystwa. Postanowiono nie drukować go, aby wysuniętemi w niem zarzutami nie obrażać autora, którego rozprawę przed niewielu dniami rozpatrywano z takiem uznaniem. Poprzestano tylko na przesłaniu go Newtonowi do wiadomości. Newton 20 lutego odbiór potwierdził, zapowiadając rychłe nadesłanie odpowiedzi. Odpowiedź jednak została wysłana przez Newtona dopiero 11 czerwca 1672 r. Opóźnienie było spowodowane dwiema przyczynami: pierwsza ważniejsza polegała na tem, że między zarzutami Hooke'a było parę niewątpliwie usprawiedliwionych zbytnią kategorycznością założeń Newtona co do istoty światła, nie znajdującą wystarczającego uzasadnienia ani w wynikach doświadczenia ani w rozumowaniu. Trzeba więc było sporne punkty tak dokładnie wyjaśnić, aby Hooke nie mógł już ich zaatakować. Drugim, o wiele mniej ważnym, powodem było, że w tym

samym mniej więcej czasie wmieszał się do dyskusji nowy przeciwnik jezuita Pardies, który podał w wątpliwość ścisłość obliczeń Newtona, dowodząc na zasadzie wykonanych przez siebie doświadczeń, że różnicy trzydziestominutowej kątów padania może nieraz odpowiadać różnica w kątach odchylenia wychodzących z pryzmatu promieni, sięgająca do 2°23′, a więc prawie równa długości otrzymanego przez Newtona widma. Pardiesowi Newton odpisał odrazu, wskazując, na czem polegał błąd w jego doświadczeniach: oto Pardies, jak sam przyznaje, ustawiał pryzmat w taki sposób, aby kąty załamania na obydwu ścianach pryzmatu możliwie jak najbardziej się różniły, Newton zaś wykonywał swe doświadczenia w położeniu najmniejszego odchylenia promieni, a więc gdy kąty te były równe. Pardies uznał swój błąd, uważał jednak za swój obowiązek napisać jeszcze krótkie wyjaśnienie, w jaki sposób można pogodzić rozszczepienie światła w pryzmacie z „hipotezą genjalnego Hooke'a", której Pardies, jako uczeń Grimaldiego był zwolennikiem. Newton i tego listu nie zostawił bez odpowiedzi. Wysłał ją razem z odpowiedzią Hooke'owi, powodując tym razem oświadczenie ojca Pardiesa, że „najnowsza odpowiedź pana Newtona, której mi na moje nalegania udzielił, uczyniła mi całkowicie zadość" (omnino mihi satisfecit).

Odpowiedź Hooke'owi Newton rozpoczął od stwierdzenia nieścisłości w streszczeniu twierdzeń, dotyczących istoty światła. „Przypisują mi, jako twierdzenie dogmatyczne pogląd, który pozwoliłem

sobie wypowiedzieć w końcu mojej rozprawy, lecz z najwyraźniejszem zastrzeżeniem, a mianowicie, że światło jest ciałem, i chcą z tego twierdzenia wyciągnąć rażący wniosek, że wszystkie barwy lub wszystkie stopnie światła muszą być ciałami. Otóż prawda, że na podstawie mej teorji wnioskuję, iż światło jest cielesne, ale nie twierdzę tego bez wahania, jak na to wskazuje słowo „być może" (perhaps). Stawiam to, ostatecznie, jako prawdopodobne uzupełnienie mej doktryny, ale nie jako podstawową hipotezę, służącą do jej uzasadnienia, a tem mniej, jako część zasadniczą samej doktryny... Wiedziałem bardzo dobrze, że własności światła, których wyjaśnienie daje moja rozprawa, można rozumieć nietylko przy użyciu tej hipotezy, która mi jest przypisywana, lecz i nieskończonej ilości innych. Wobec tego postanowiłem wszystkich ich unikać i mówić o świetle w wyrazach ogólnych, jako o czemś (something or other), co rozchodzi się z ciała świecącego wzdłuż linij prostych, nie określając, czem jest (what that thing is)..."

Po tem częściowem wycofaniu się z poglądów, bądź co bądź wypowiedzianych w „Nowej teorji światła i barw", Newton przechodzi do odparcia dalszych zarzutów Hooke'a.

„Ale przypuściwszy nawet, że istotnie postawiłem taką hipotezę, nie rozumiem, dlaczego mój przeciwnik tak bardzo przeciwko niej powstaje... Drgania eteru są w niej równie potrzebne i konieczne, jak w tamtej; jeżeli bowiem przyjmiemy, że promienie świetlne są utworzone z ciałek, wyrzucanych we wszystkich kierunkach przez ciała

świecące, muszą one, trafiając jakąś łamiącą lub odbijającą powierzchnię, z równą koniecznością wzbudzać drgania w eterze jak kamień w wodzie, do której jest wrzucony. I załóżmy, że te drgania mają różne szerokości lub grubości, zależnie od różnej wielkości i prędkości tych promieni cielesnych, przez które są wzbudzone", to takie założenie może okazać się bardzo pożytecznem przy objaśnieniu zjawisk odbijania i załamania światła, wysyłania światła przez palące się ciała, barw cienkich przezroczystych płytek i t. d. Jeżeliby i takie objaśnienie, w którem Newton po raz pierwszy próbował pogodzić swoją substancjalną teorję światła ze zjawiskami perjodyczności, nie odpowiadało Hooke'owi, to można użyć i jego własnej teorji do wyjaśnienia zjawisk odkrytych przez Newtona, jak to mu Newton udowadnia w mistrzowskim ustępie, w którym zawarta jest in nuce cała przyszła falowa teorja światła. „Jego [Hooke'a] zasadniczem założeniem jest, że części ciał, żywo się poruszając, wzbudzają w eterze drgania, które z tych ciał rozchodzą się wzdłuż linij prostych i, trafiając dno oka, wywołują w niem wrażenie światła, do pewnego stopnia w ten sam sposób, w jaki drgania powietrza powodują wrażenie tonu. Za najmniej wyszukane i najbardziej naturalne zastosowanie tej hipotezy do wyjaśnienia zjawisk uważam następujące: Poruszone części świecącego ciała wzbudzają w eterze, zależnie od swej różnorakiej wielkości, kształtów i ruchów, drgania o różnej głębokości lub grubości. One to, gdy je nierozłączone przeniesie do naszego oka środowisko, wywołują wrażenie świa-

tła białego; gdy jednak w jakikolwiek sposób zostaną rozdzielone według swych nierównych wielkości, wywołają wrażenie różnych barw, przyczem największe czerwieni, najmniejsze lub najgłębsze najciemniejszego fioletu, a między niemi leżące drgania — barw średnich. A ponieważ można założyć, że największe drgania, najlepiej się nadają do przezwyciężenia oporu powierzchni łamiących i wskutek tego przechodzą z najmniejszem załamaniem, to z samej hipotezy wynika różne załamanie różnych promieni, mniejsze czerwonych, większe fioletowych i stąd konieczne rozszczepienie przez pryzmat światła białego na barwne. Stąd można łatwo wyprowadzić wszystkie barwne zjawiska w pryzmacie. Dalej jasną jest rzeczą, że będzie zależało jedynie od grubości cienkiej przezroczystej płytki lub warstewki, czy drganie będzie odbite od tylnej powierzchni płytki czy też przez nią przepuszczone, tak że zależnie od różnych grubości płytki będą odbite lub przepuszczone różne barwy; a ponieważ drgania, które wywołują barwę niebieską lub fioletową, są krótsze, niż te, które wzbudzają barwę czerwoną i żółtą, to muszą one również odbijać się przy mniejszej grubości płytki i t. d... To są, jak się zdaje, najjaśniejsze... i najkonieczniejsze wnioski tej hipotezy; tak dobrze zgadzają się one z moją teorją, że, gdyby mój przeciwnik uważał za słuszne przyjąć ją, mógłby się nie bać obalenia swojej hipotezy". Dla Newtona jednak hipoteza ta jest nie do przyjęcia, zasadnicze bowiem jej założenie wydaje mu się niemożliwem, to „mianowicie, że fale lub drgania jakiejkolwiek cieczy rozchodzą

się wzdłuż linij prostych, zamiast wyginać się i rozszerzać we wszystkich kierunkach w spoczywającem środowisku". Oto zasadniczy powód, dla którego Newton odrzuca i do końca odrzucać będzie falową teorję światła, nawet wtedy, gdy zapozna się z doświadczeniami Grimaldiego i niektóre z nich powtórzy.

Wreszcie ostatni zarzut Hooke'a. Wymaga on, „abym wyjaśniał barwy przez dwie strony rozdzielonego drgania, abym więc rozróżniał dwa tylko rodzaje barw, inne zaś opisywał tylko jako różne ich stopnie lub rozcieńczenia..." Do przyjmowania jednak tych założeń Newton nie jest obowiązany. „Jeżeli bowiem rozpatruję światło w sposób oderwany, bez związku z jakąkolwiek hipotezą, to równie łatwo mogę zrozumieć, że pojedyncze części świecącego ciała mogą wysyłać promienie o różnych barwach i innych własnościach, jak rozumiem, że różne części wadliwej, niejednorodnej struny lub różne jednocześnie pobudzone do drgania rury organowe lub różne razem w świecie dźwięczące ciała wysyłają dźwięki o różnych tonach, które niewyraźnie zmieszane mogą rozchodzić się w powietrzu". To porównanie, nie dość szczęśliwe, gdyż nie wyjaśniające dostatecznie zagadnienia, które niemałą rolę w tym sporze odgrywało, czy światło białe jest światłem złożonem, czy też mieszaniną barw prostych[1]),

---

[1]) Innemi słowy, czy każda świecąca cząstka ciała wysyła światło oznaczonej barwy, tak że dopiero świecenie wielkiej ilości tych cząstek wywołuje wrażenie światła białego czy też na podobieństwo drgającej struny wysyła od-

rozwija Newton dalej: „A gdyby było takie ciało, któreby odbijało tylko dźwięki oznaczonego tonu, pochłaniało zaś inne oznaczone dźwięki i wreszcie przepuszczało jeszcze inne, to echo, które, idąc od tego ciała, przynosiłoby z niewyraźnej gromady tylko jeden oznaczony ton, byłoby tak, jak ciało, oświetlone mieszaniną wszystkich barw, które zawsze może ukazać się tylko w jednej barwie, w tej mianowicie, którą jedynie odbija. Jeżeli jednak pan Hooke chce wskazać na trudności tych rzeczy, gdy je porównywa z istnieniem tonów już w miechach organowych, rozumiem to równie mało, jakgdyby ktoś chciał mówić o istnieniu światła już w oleju lampy, zanim podniesie się on w knocie".

Ta odpowiedź, w której głębokie przemyślenie zagadnień łączyło się z niepospolitym talentem polemicznym, obalała gruntownie teorję dwu barw zasadniczych i stawiała pod wielkim znakiem zapytania teorję falową światła. Na jej miejsce Newton wyraźnych hipotez nie wysuwał, chcąc uniknąć sporów, które uważał za jałowe i pomijające jego zdaniem to, co uważał za główną treść swej pracy: stwierdzenie wielości barw i różnej dla każdej z nich łamliwości. W odpowiedzi na anonimowy list Huygensa z d. 14 stycznia 1673 r., który występował w obronie teorji dwu barw, Newton zaznaczał, że nie jest jego „zamiarem rozstrzygać, w jaki sposób można przy pomocy hipotez wyjaśnić barwy. Tem mniej mam ochotę (mihi animus est) wykazywać,

razu światło złożone. Doświadczenia Newtona z pryzmatem tego zagadnienia rozstrzygnąć nie mogły.

na czem polega istota barw i [zachodząca między niemi] różnica; raczej chodzi mi o wykazanie, że są one *istotnie* (de facto) pierwotnemi (primigeniae) i niezmiennemi jakościami promieni (qualitates Radiorum)". „Wyjaśnienie istoty tych ich jakości i różnicy przy pomocy hipotez mechanicznych, co zresztą uważam za niezbyt trudne zajęcie, pozostawiam innym." Mimo tych zastrzeżeń Newton postawił taką „hipotezę mechaniczną", ale dopiero w dwa lata później. Podał ją w początkowych ustępach nowej pracy z optyki, zawierającej badania tych zjawisk, które Hooke po raz pierwszy opisał w swej „Mikrografji" i nad któremi ciągle, z krótkiemi przerwami pracował, gdyż w nich widział główne oparcie swej teorji.

Protokóły T-wa Królewskiego z 1672 r. zawierają liczne stosunkowo wzmianki o sprawozdaniach, jakie Hooke z postępu swych prac składał na posiedzeniach T-wa. Najważniejsze z nich zawierało opis zjawisk, zachodzących przy ściskaniu dwu równych, dobrze wypolerowanych cienkich płytek szklanych. Przy niewielkiem naciskaniu powstawała w miejscu przyciskanem plama czerwona, która stopniowo w miarę wzrostu ciśnienia przechodziła w układ współśrodkowych tęcz kołowych; dalsze wzmożenie ciśnienia ściągało tęcze te do punktu środkowego, gdzie tworzyła się plama biała, koło której następnie powstawały nowe koła tęczowe. Zmiana położenia oka obserwatora powodowała zmianę zarówno położenia, jak i barw tęczy, które zmieniały się również i wtedy, gdy zamiast w świetle odbitem rozpatrywano płytki w świetle przechodzącem.

Nierównie mniejszą wagę posiadała przedstawiona T-wu 18 marca 1675 r., a zapowiadana już w 1672 r., rozprawa, zawierająca opis nowych, jak twierdził Hooke, osobliwości światła, których dotychczas żaden optyk jakoby nie zauważył. To twierdzenie było, co najmniej, mocno przesadzone; osobliwości bowiem, które Hooke uroczyście zapowiadał, nie były niczem innem jak zjawiskiem dyfrakcji, przez Hooke'a nazwanej infleksją, doświadczenia zaś Hooke'a — powtórzeniem prawie bez zmiany doświadczeń Grimaldiego. Wpływ Grimaldiego (a może i odpowiedzi Newtona) wyraźnie się zaznacza we wstępie rozprawy, zawierającym uwagi o istocie światła: „światło powstaje, podobnie jak dźwięk, na skutek drgającego ruchu środowiska i, jak tony zależnie od stosunku swych drgań dają różne harmonje, tak i w świetle różne przyjemne barwy powstają na skutek proporcjonalnych i harmonijnych ruchów zmieszanych drgań".

To nowe wystąpienie Hooke'a, który zresztą Newtona nigdzie w swej rozprawie nie wymienia, było, zdaje się, powodem, który skłonił Newtona do ogłoszenia wyników swych badań w tej dziedzinie. 9 grudnia 1675 r. Newton wysłał do T-wa Królewskiego nową obszerną pracę pod tytułem: „Teorja światła i barw, zawierająca zarówno hipotezę wyjaśnienia własności światła, które autor opisał w pracach wcześniejszych, jak i opis najważniejszych zjawisk różnych barw cienkich płytek i warstewek, które także zależą od wyżej wymienionych własności światła".

W pierwszej części, stanowiącej jakby przedmowę właściwej rozprawy, Newton usprawiedliwia

się z ponownego rozważania „hipotez", dotyczących istoty światła. „...Ponieważ zauważyłem, że głowy tylu wielkich znawców wymagają takich hipotez i że moje wywody bezwzględnie wymagają wyjaśniającej hipotezy i ponieważ stwierdziłem, że pewne osoby tylko dlatego nie przychyliły się do przyjęcia mego poglądu, że w sposób zbyt oderwany mówiłem o istocie światła i barw, dlatego chętnie uchwyciłem się sposobności unaocznić moje rozważania przez hipotezę". Hipotezę, że „wszystkie barwy różnią się tak jak tony różną wielkością swych drgań" (pulses) „uważam za najprawdopodobniejszą ze wszystkich hipotez postawionych przez wcześniejszych autorów, nie widzę bowiem, w jaki sposób można trafnie wyjaśnić barwy cienkich przezroczystych płytek lub warstewek, jeżeli się nie zwrócimy do fal eteru (pulses). Mimo to jednak uważam inną hipotezę, którą już wcześniej postawiłem, za jeszcze lepszą... Jakkolwiek więc, ostrożnie dodaje Newton, sam dla siebie nie przyjmuję ani tej ani innej hipotezy, gdyż nie uważam dla siebie za konieczne wybierać, czy zjawiska światła, przeze mnie odkryte, mają być objaśniane przez tę czy też przez hipotezę p. Hooke'a czy też przez jakąkolwiek inną, to jednak w rozważaniach poniższych... będę mówił tak, jakgdybym uważał ją za swoją i innych do jej przyjęcia nakłaniał."

Przedewszystkiem Newton zakłada, że istnieje eter, „podobny do powietrza, tylko od niego rzadszy i o wiele sprężystszy", niejednorodny, lecz składający się „z wilgotnej (phlegmatic) substancji i różnych płynów eterycznych", „podobnie, jak powietrze atmosferyczne składa się z wilgotnego

(phlegmatic) powietrza, zmieszanego z różnemi parami i wyziewami." „Być może, cała budowa wszechświata jest jedynie niejednorodnym utworem pewnych dechów (spirits) eterycznych lub par, zgęszczonych jak przy opadach, lecz raczej na podobieństwo par, zgęszczanych w wodę, lub wyziewów w gęstsze substancje, choćby niełatwo poddających się zgęszczaniu, i po zgęszczeniu obrobionych w różne kształty, początkowo bezpośredniem działaniem Stwórcy, a później mocą (power) przyrody." Dowodami istnienia eteru są wypływy elektryczne i magnetyczne i zasada, powodująca ciężkość. „Elektryczne wypływy uczą, jak się zdaje, że wszystkie ciała zawierają w sobie zgęszczone substancje eterycznej natury." Jakże bowiem inaczej można objaśnić następujące doświadczenie. „Kilkakrotnie kładłem szybę szklaną... oprawioną w metalowe ramki, na stole w ten sposób, aby szkło było nad stołem o jakąś $^1/_8$ lub $^1/_6$ cala i aby powietrze pod szkłem było całkowicie zamknięte... Gdy pocierałem szkło chropowatą materją tak długo, aż zostały przyciągnięte do szkła bardzo małe kawałki cienkiego papieru, to kawałki te zaczynały skakać szybko tam i zpowrotem... Gdy przesuwałem palec po wierzchniej stronie szkła, nie poruszając jednak ani szkła ani powietrza pod niem, to cząstki, wiszące po dolnej stronie, wprawiane były w nowe ruchy i nachylały się w tym lub innym kierunku zależnie od ruchów mego palca." To doświadczenie, które dopiero po dodatkowych wyjaśnieniach Newtona udało się powtórzyć na posiedzeniach T-wa, można, według Newtona, wyjaśnić tylko w ten sposób, że materja eteryczna zgęszczona w szkle zo-

staje na skutek tarcia rozrzedzona i następnie, poruszając się, porusza papier, „dopóki nie wróci do szkła i na nowo się nie zgęści."

Drugim dowodem istnienia eteru jest „przyciągająca siła ziemi." Dla Newtona, powtarzającego w całym tym ustępie z niewielkiemi jedynie i nieistotnemi zmianami poglądy Descartes'a, jest ona uwarunkowana przez ciągle zachodzące zgęszczanie eterycznej substancji podobnej do występującej w zjawiskach elektrycznych. To zgęszczanie i jednocześnie zachodzące parowanie powoduje powstawanie siły, działającej na ciała w kierunku ku ziemi i proporcjonalnej, znów zgodnie z duchem wywodów Kartezjusza, do ich powierzchni.

W istnieniu eteru mają też swoje źródło takie zjawiska, jak przyleganie, spójność, a nawet kurczliwość mięśni zwierzęcych. Do objaśnienia ich wystarczy założyć, że eter nie w jednakowym stopniu przenika wszystkie ciała i że jest on w nich naogół rzadszy, niż w otaczającej przestrzeni.

„Światło jednak nie jest, według mnie, ani eterem ani drgającym ruchem eteru, lecz czemś, co na różne sposoby rozchodzi się ze świecącego ciała. Można je uważać za zespół różnych jakości perypatetycznych. Inaczej zaś, jako ilość niedostrzegalnie małych i szybkich ciałek o rozmaitych kształtach, wysyłanych przez ciało świecące na duże odległości jedno po drugiem, ale bez dostrzegalnych przerw i poruszanych przez zasadę ruchu... Ci, co nie uważają tego za słuszne, mogą uważać światło jako cielesną emanację lub jako ruch lub jako impuls do niego, lub jako coś, co

sami uważają za właściwe... Zakładam jedynie, że światło składa się z promieni, mogących się różnić między sobą przypadkowemi własnościami, jak wielkość, siła (force), lub natężenie (vigour); podobnie, jak ziarnka piasku w morzu, fale na jeziorze lub twarze ludzi. Dalej jeszcze będę zakładał, że światło jest różne od drgań eteru", gdyż inaczej cienie byłyby równie niemożliwe, jak całkowicie nieprzezroczyste powierzchnie. Kolejne zaś zmiany w przepuszczaniu i odbijaniu promieni przez cienkie płytki też nie mogłyby być objaśnione.

Wobec tego należy założyć, że światło i eter są czemś różnem, ale wzajemnie na siebie oddziaływającem. Światło, poruszając się w eterze o niejednakowej gęstości, doznaje uderzeń w kierunku rzadszego eteru i tu leży przyczyna załamania światła. Następnie eter w ciałach jest przez promienie świetlne pobudzany do drgań. Drgania te kolejno eter zgęszczają i rozrzedzają. Te promienie świetlne, które padają na zgęszczony eter, są natychmiast odbijane, te zaś, które padają na część rozrzedzoną lub na przerwę między dwoma drganiami są przepuszczane. Te założenia pozwolą już objaśnić barwy cienkich płytek. „Można przyjąć, że jakkolwiek światło jest ponad wszelkie wyobrażenie szybkie, drgania, wzbudzone przez światło w eterze, postępują jeszcze prędzej, niż same promienie. Te drgania, które postępując od jednej powierzchni cienkiej płytki do drugiej, przeganiają promienie, mogą być przyczyną, że światło jest odbijane, gdy trafi na gęstsze miejsca drgań eteru, poza tem zaś

przepuszczane. Odbicie lub przepuszczanie światła zależy przeto od grubości płytek. Jeżeli położymy wypukłe [szkło] na równej płytce, to różne grubości zawartych między niemi warstw powietrza będą w stosunku takim, jak odległości[1]) danej warstwy od miejsca zetknięcia; stąd wynika, że przepuszczone i odbite światło ujawni się w kolejno zmieniających się pierścieniach dookoła miejsca zetknięcia. W świetle jednorodnem powstaną zatem jasne i ciemne pierścienie, których promienie będą w pewnym stosunku do grubości danej warstwy i długości fali. Ponieważ czerwone i żółte światło wzbudza w eterze fale o innej wielkości, niż niebieskie i fioletowe, to również i pierścienie barwne będą przy tych barwach mieć różne średnice, przy niebieskiej — najmniejsze, przy czerwonej — największe, i dzięki temu odbiciu również białe światło słoneczne rozłoży się na barwne pierścienie. Jeżeli mamy do czynienia nie z warstwami powietrza, lecz z warstwami wody, szkła i t. d., to należy przyjąć, że w rzadszym eterze fale są krótsze, niż w gęstszym; odpowiednie pierścienie barwne będą miały zatem w gęstszem ciele przezroczystem[2]) promienie mniejsze..." Co dotyczy zjawiska, o którem „mówił pewnego razu p. Hooke", a mianowicie „zadziwiającego rozpraszania światła przy przechodzeniu promienia świetlnego wpobliżu ostrza noża w ciemnym pokoju, przyczem promień świetlny pod wszystkiemi kątami wkracza w cień przed-

---

[1]) Właściwie, jak kwadraty tych odległości.
[2]) W ciele gęstszem eter jest rzadszy.

miotu", to „uważam je za nowy rodzaj załamania promieni świetlnych, uwarunkowany przez wzrastające rozrzedzenie eteru przy zbliżaniu się do danego ciała". „Niech mi będzie wolno, dodaje złośliwie Newton, powiedzieć, że jak sobie przypominam, widziałem już to doświadczenie przedtem u pewnego włoskiego autora. Autorem tym był Honoratio Fabri, który jednak podawał je za Grimaldim".

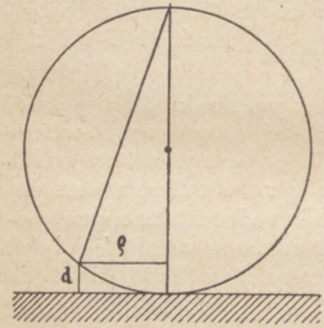
Odczytywanie tych rozważań, nigdy drukiem przez Newtona nie ogłoszonych, wypełniło porządek dzienny dwu kolejnych posiedzeń T-wa z 9 i 16 grudnia.

Dalsza część rozprawy, przedrukowana później bez poważniejszych zmian w „Optyce" Newtona, wydanej w 1704 r., zajęła posiedzeń cztery od 20 stycznia do 10 lutego 1676 r. Zawierała ona dokładny, bogatym materjałem doświadczalnym poparty opis „zjawisk różnych barw cienkich płytek i warstewek", oraz opartą na nich teorję „trwałych barw ciał przyrody".

Zasadnicze doświadczenia, w niej podane, mało odbiegały naogół od odpowiednich doświadczeń Hooke'a i doprowadzały do tych samych, co i one, wyników. Newton, podobnie jak Hooke, stwierdził zależność zabarwienia od grubości warstwy, różnicę i jakby wzajemne uzupełnianie się barw pierścieni w świetle odbitem i przechodzącem, zmniejszanie się średnicy pierścieni, gdy warstewkę powietrza zastąpi warstewka wody, zmianę barw bańki mydlanej w miarę zmiany grubości jej ścianek i t. d.

Przejrzystość jednak rozumowania, staranność i ścisłość obserwacyj, poparta niezwykłą zręcznością eksperymentatorską, pozwoliły Newtonowi nawet w tych przypadkach, tak gruntownie, zdawało się, i dokładnie przez Hooke'a zbadanych, znaleźć nowe, Hooke'owi zupełnie niedostępne szczegóły.

Dotyczyło to przedewszystkiem pomiaru grubości zabarwionej warstewki. Hooke z zagadnieniem tem poradzić sobie nie umiał. Newton ominął trudności pomiaru bezpośredniego przez użycie do doświadczeń warstewki powietrza zawartej pomiędzy wypukłą soczewką i płaską stroną soczewki płasko wypukłej. W tym przypadku koło ciemnej plamy w miejscu zetknięcia się soczewek powstawały współśrodkowe koła barwne. Wystarczyło zmierzyć średnicę tych kół, aby znając promień krzywizny wypukłej soczewki, wyznaczyć grubość danej warstwy powietrza[1]). „...Zmierzy-



Ryc. 24.

---

[1]) Ze wzoru $\rho^2 = R^2 - (R - d)^2 = 2Rd - d^2$ gdzie ρ — promień koła barwnego, R — promień krzywizny soczewki, d — grubość warstewki. Wobec tego, że d jest małe w porównaniu z R, można wzór powyższy zastąpić prostszym $\rho^2 = 2Rd$, stąd $d = \frac{\rho^2}{2R}$.

łem średnicę pierwszych sześciu kół w najjaśniejszych miejscach ich obwodu, podniosłem je do kwadratu i znalazłem, że kwadraty te tworzą postęp arytmetyczny liczb nieparzystych 1, 3, 5, 7, 9, 11. A ponieważ jedno ze szkieł było płaskie, drugie zaś kuliste, to przestrzenie między pierścieniami musiały tworzyć podobny postęp. Wobec czego zmierzyłem średnicę ciemnych i matowych pierścieni pomiędzy jasnemi barwami i znalazłem, że ich kwadraty tworzą postęp arytmetyczny liczb parzystych 2, 4, 6, 8, 10, 12. Ponieważ jednak jest rzeczą trudną i nastręczającą wątpliwości dokładne wykonanie takich pomiarów, powtarzałem je wielokrotnie w różnych miejscach szkieł, aby przez ich zgodność przekonać się o ich prawdziwości". Ale nawet uwzględnienie wszelkich możliwych poprawek, jakie należało wprowadzić do pomiarów, nie mogło Newtona doprowadzić do ustalenia związku między grubością warstewki a daną barwą; w świetle bowiem białem pierścienie różnych barw wzajemnie na siebie zachodziły. O tem przekonało Newtona następujące doświadczenie. W ciemnym pokoju światło, rozszczepione przez pryzmat, padało na arkusz białego papieru, który odbijał się w układzie soczewek, jak w zwierciadle. „Kazałem asystentowi obracać pryzmat koło osi tam i zpowrotem, tak żeby barwy kolejno padały na to miejsce papieru, jakie widziałem przez odbicie na tej części szkieł, na której zjawiały się koła, i żeby stopniowo wszystkie barwy z tych kół odbijały się do mojego ciągle w tem samem miejscu znajdującego się oka. Wtedy znalazłem, że koła wzbudzone przez światło czerwone są wyraźnie

większe, niż pochodzące ze światła niebieskiego i fioletowego; przejęty wielką rozkoszą widziałem, jak stopniowo rozszerzały się lub zwężały w miarę, gdy zmieniała się barwa światła". Ten układ doświadczenia pozwalał na pomiar średnicy pierścieni jednobarwnych. „Można z nich, sądzę, wywnioskować, że grubości powietrza między szkłami tam, gdzie pierścień powstaje kolejno na granicy pięciu barw głównych (czerwona, żółta, zielona, niebieska, fioletowa), są do siebie kolejno (t. zn. od najskrajniejszej czerwieni, od granicy między czerwoną barwą i żółtą w środku pomarańczowej, od granicy między żółtą i zieloną, od granicy między zieloną i niebieską, od granicy między niebieską i fioletową w środku indygo i w skrajnym fiolecie) w stosunku mniej więcej takim, jak 6 długości strun, które dają nuty aż do dużej seksty *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *A*. Jeszcze lepszą otrzymamy zgodność z doświadczeniem, gdy powiemy, że grubości powietrza między szkłami w miejscach, gdzie się tworzą kolejno pierścienie na granicy siedmiu barw czerwonej, pomarańczowej, żółtej, zielonej, niebieskiej, indygo, fioletowej są do siebie w stosunku takim, jak pierwiastki sześcienne z kwadratów 8 długości strun oktawy *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *A*, *B*, *c* to znaczy, jak pierwiastki sześcienne z kwadratów liczb 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{1}{2}$".

Badanie w świetle jednorodnem pozwoliło również dać niedwuznaczne wyjaśnienie związku, zachodzącego między zjawiskami obserwowanemi w świetle odbitem i w świetle przechodzącem. „Pieścienie te nie były, jak wtedy gdy powstawały

w świetle słonecznem, różnej barwy, lecz ukazywały się w tej barwie pryzmatycznej, którą były oświetlone. Gdy rzucałem barwy pryzmatyczne bezpośrednio na szkła, znalazłem, że światło, padające na ciemne przestrzenie między barwnemi pierścieniami, przechodzi przez szkła bez jakiejkolwiek zmiany swej barwy. Na trzymanym bowiem z tyłu białym papierze rysowały się pierścienie o tej samej barwie, w której były odbijane i z temi samemi między sobą przestrzeniami. Stąd jasne jest pochodzenie tych barw, a mianowicie, że powietrze między szkłami jest skłonne zależnie od różnej swej grubości światło jakiejkolwiek barwy w pewnych miejscach odbijać, w innych zaś przepuszczać, i w tych samych miejscach światło jednej barwy odbijać, podczas gdy jakiejś innej barwy przepuszczać". Barwą więc pierścieni, obserwowanych w świetle białem, jest naogół mieszanina barw prostych.

Pośredniem tego potwierdzeniem jest zjawisko, które wydało się Newtonowi najdziwniejszem ze wszystkich, jakie obserwował: „Gdy położyłem jedno na drugiem obydwa szkła objektywów, tak że ukazywały pierścienie barwne, mogłem gołem okiem rozpoznać nie więcej, niż 8 do 9 takich pierścieni; jeżeli jednak patrzyłem na nie przez pryzmat, widziałem ich o wiele większą ilość, tak że widziałem ich więcej niż 40, nie licząc wielu innych, które były tak wąskie i tak gęsto leżały jeden przy drugim, że nie mogłem oka tak dokładnie na każdy poszczególny z nich skierować, aby je policzyć". „Przyczynę tego można zrozumieć, gdy się pomyśli, że wszystkie te pierścienie

zawarte są istotnie w warstewkach, gdy się na nie patrzy gołem okiem, i że one tylko dzięki wielkiej szerokości na swym obwodzie tak się ze sobą mieszają, że wydają się tworzyć równomierną biel. Gdy jednak promienie przechodzą do oka przez pryzmat, to koła, należące do różnych barw w każdym pierścieniu, załamią się i to jedne więcej, inne mniej, według stopnia ich łamliwości. Wskutek tego barwy z jednej strony obwodu pierścienia (licząc od środka) bardziej się rozwijają i rozszerzają, po przeciwnej zaś stronie bardziej się ściągają. I tam, gdzie przez odpowiednie załamanie są tak ściągnięte, że pojedyńcze pierścienie stają się zbyt wąskiemi, aby mogły się zmieszać, muszą występować wyraźnie, a nawet być białemi, gdy zawarte w nich barwy ściągają się aż do zupełnego złączenia. Po przeciwnej jednak stronie, gdzie szerokości pierścieni przez rozwinięcie barw stają się coraz większe, pierścień musi spotykać się z innemi pierścieniami bardziej, niż poprzednio i przez to stawać się mniej wyraźnym".

Podobne zwiększenie ilości widzianych pierścieni może być otrzymane i na innej drodze: „Gdy spojrzałem [na układ szkieł] przez trzymaną tuż przy oku szczelinę lub prostokątny otwór, węższy od źrenicy mego oka, to zobaczyłem nagle pierścienie o wiele wyraźniej i mogłem rozpoznać znacznie większą ich ilość". „Powód polega na tem, że promienie, dochodzące do różnych miejsc źrenicy oka, różne mają względem szkieł nachylenie, i najbardziej pochyłe z nich, oddzielnie rozpatrywane, wytwarzałyby pieścienie większe, niż najmniej pochyłe. Wobec tego szerokość obwodu

każdego białego pierścienia jest powiększona na zewnętrznej stronie przez najbardziej pochyłe promienie i na wewnętrznej przez najmniej pochyłe tem bardziej, im większa jest różnorodność pochylenia promieni, to znaczy im bardziej rozszerzona jest źrenica lub oko przybliżone do szkła".

W tych badaniach wykonanych z nieporównanem mistrzostwem, których ścisłość aż do czasów Fresnela pozostanie nieprześcignioną i na których w sto przeszło lat później Young będzie się opierał, jak na niewzruszonej podstawie, widział Newton nowe potwierdzenie swej teorji barw, którą tym razem równie wyraźnie formułuje, jak w swej pierwszej pracy: „Z przytoczonych poprzednio doświadczeń wynika również, że biel jest niejednorodną mieszaniną wszystkich barw i światło mieszaniną promieni, obdzielonych temi wszystkiemi barwami... Wynika stąd także, że własności barwne promieni są im niezmiennie nadane od przyrody i że wreszcie wszystkie zjawiska barwne w całym świecie nie wynikają ze zmian, jakich doznaje światło przy załamaniach i odbiciach, lecz jedynie z najrozmaitszego mieszania się i oddzielania promieni na skutek różnej ich łamliwości lub zdolności odbijania." Teorja przeto zmian (modification), jakich doznaje „ruch świetlny" przy przechodzeniu przez ciała łamiące, tak nieszczęśliwie związana przez Hooke'a z teorją dwu barw zasadniczych, w ten sposób stawała się na długie lata pogrzebaną, aby odżyć tako temat dyskusyj w zmienionej nieco postaci dopiero pod koniec wieku 19-go.

Naukę o barwach, która „w takiem rozumieniu... jest równie pewną teorją matematyczną, jak każda inna część optyki", Newton stosuje w końcowych ustępach swej rozprawy do wyjaśnienia zabarwienia ciał. Barwy te są, według niego, tego samego pochodzenia, co barwy cienkich płytek. „Wynika to jasno z podobieństwa między własnościami cząstek ciał przyrody i własnościami cienkich warstewek. Wspaniale zabarwione pióra pewnych ptaków, szczególniej pióra pawiego ogona, ukazują się w tem samem miejscu piór w różnych barwach zależnie od położenia oka, zupełnie w ten sam sposób, co barwy cienkich blaszek". Rolę cienkich warstewek odgrywają w tym przypadku przezroczyste cząstki ciała. „Najmniejsze [bowiem] cząstki wszystkich prawie ciał przyrody są w pewnym stopniu przezroczyste; nieprzezroczystość ciał pochodzi z gromady odbić, które wewnątrz ciała zachodzą".

Cząstki, te które być może, „zczasem, gdy mikroskopy będą znacznie udoskonalone", będziemy mogli widzieć, są rozdzielone przestrzeniami próżnemi lub wypełnionemi środowiskiem o mniejszej niż cząstki gęstości. Z tych samych powodów, dla których w cienkich płytkach pewne promienie są przepuszczane, inne zaś odbijane, pewne promienie są przez owe przezroczyste cząstki odbijane; one to wyznaczają barwę danego ciała.

Temi wywodami, stanowiącemi pierwszą naukową próbę wyjaśnienia niezmiernie trudnego zagadnienia, kończy Newton swą rozprawę. Zamyka ona pierwszy, niezwykle płodny okres jego życia. Drugi rozpoczynają „Zasady".

BIBLJOGRAFJA.

W języku polskim istnieje, o ile nam wiadomo, jedna tylko obszerniejsza praca, poświęcona Newtonowi; jest nią piękna rozprawa dr. Władysława Natansona, profesora Uniwersytetu Jagiellońskiego, p. t. „Newton", ogłoszona początkowo w „Przeglądzie Współczesnym" (Kraków, tom XXI str. 353—403), następnie przedrukowana w książce „Porządek natury" (Kraków, 1928, Krakowska Spółka Wydawnicza, str. 59—122). Biografję Newtona, jak również przekład pewnych ustępów z „Zasad" opracowała p. M. Sadzewiczowa w książce zbiorowej „Dzieje rozwoju fizyki w zarysach" wydanie drugie (Warszawa 1931, nakładem redakcji „Mathesis Polska", tom I, str. 80—98). Prace optyczne Newtona rozpatrzył i pewne ustępy z „Optyki" przełożył dr. S. Ziemecki, l. c. tom II, str. 206—232.

Źródła, któremi posługiwano się przy pisaniu niniejszej książki, przytoczone są w przypisach. Tu podajemy tytuły tych najczęściej przytaczanych prac, które w przypisach oznaczamy skrótem.

T. Rosenberger, *Isaac Newton und seine physikalischen Prinzipien*, J. A. Barth, Leipzig 1895.

A. de Morgan, *Essays on the Life and Work of Newton*, Chicago and London, The Open Court Publishing Company, 1914.

D. Brewster, *Memoirs of the Life, Writings and Discoveries of sir Isaac Newton*, 2 tomy, Edinburgh, Thomas Constable and Co, 1855.

S. P. Rigaud, *Historical Essay on the First Publication of sir Isaac Newton Principia*, Oxford University Press, 1838.

M. Cantor, *Vorlesungen über die Geschichte der Mathematik*, Leipzig, Teubner, 1913. Tom II i III.

A memorial Volume, *Isaac Newton* — A memorial Volume edited for the Mathematical Association by W. J. Greenstreet, London, G. Bell and Sons, 1927.

F. Arago, *Oeuvres complètes*, Paris, Gide et J. Baudry, Leipzig, T. O. Weigl, 1855 r. Tom III.

L. Bloch, *La philosophie de Newton*, Paris, Alcan, 1908.

T. Macaulay, *Dzieje Anglji*. Przekład polski pod redakcją Adolfa Pawińskiego, Warszawa 1873.

PRZYPISY

DO ROZDZIAŁU PIERWSZEGO

Wiersz, wyryty na stole, jest utworem Pope'a (1688—1744)

o pewnem wyróżnianiu się rodziny Newtona z pośród otoczenia wspomina Morgan, l. c., str. 126—127

dane biograficzne, dotyczące tego okresu czasu, wzięte są głównie z Brewstera l. c., na którym zresztą opierają się wszyscy prawie późniejsi biografowie Newtona; pewne ciekawe szczegóły znaleźć można również i w „Memorial Volume" l. c., w artykułach J. A. Holdena „Newton and his homeland — the haunts of his youth" (str. 141—143) oraz G. N. Watsona „Trinity College in the time of Newton" (str. 144—147)

dane, dotyczące uniwersytetu w Cambridge, wzięte są z książki A. Graya „Cambridge University", 1926

o stanie nauk przyrodniczych w Anglji i o przełomie, który nastąpił w chwili wstąpienia na tron Karola II — F. A. Lange, „Historja filozofji materjalistycznej i jej znaczenie w teraźniejszości". Tom I w przekładzie Aleksandra Świętochowskiego, tom II — Feliksa Jezierskiego. Warszawa, 1881, tom I, str. 227 i nn. oraz Macaulay, l. c., tom II, str. 105 i nn.

dane, dotyczące pierwszych lat pobytu Newtona w Cambridge, są naogół skąpe i często dość sprzeczne, tak, że trudną jest rzeczą zdać sobie dokładnie sprawę z prac Newtona w tym okresie i z wpływów, jakim podlegał; o wpływie Barrowa można sądzić na podstawie pierwszych prac matematycznych Newtona (p. rozdział trzeci)

ustęp z „Arithmetica universalis" cytowany według Blocha, l. c., str. 6

charakterystyka geometrji Descartes'a i wyjątki z niej według szkicu historycznego W. P. Szeremietiewskiego, umieszczonego w rosyjskim przekładzie książki H. Lorentza. „Elemienty wysszej matiematiki", Moskwa 1903, str. 293 i in.

wyjątki z „Rozprawy o metodzie" według przekładu Boya, wydanie drugie (bez daty)

„Geometrję" Descartes'a czytał Newton zapewne w łacińskim przekładzie Schootena, wydanym w 1649 r., lub też późniejszym z 1659 r. z obszernemi uzupełnieniami Florimonda de Beaunce, Franciszka van Shootena i Jana de Witta.

DO ROZDZIAŁU DRUGIEGO

opowiadanie o powstaniu teorji grawitacji — Voltaire, Oeuvres complètes. Paris, Garnier Frères, 1879; tom XXII, str. 135 i str. 520

kosmogoniczne poglądy Arystotelesa i Platona — P. Duhem. „Le système du monde". — Paris, A. Herrmann et fils, 1913; tom I, str. 28—101; 130—241

pogląd Keplera na geometrję — M. Cantor, l. c., tom II, str. 827

streszczenie prac Keplera głównie według F. Arago, l. c. str. 199—240; poglądy Keplera na istotę ciążenia podaje Rosenberger, l. c. str. 137—141; P. Laplace, „L'exposition du système du monde". Paris, Courcier, 1813, str. 402—404

tytuł pracy Keplera, podającej stosunki orbit planetarnych — Johanni Kepleri prodromus dissertationum cosmographicarum, continens mysterium cosmographicum de admirabili proportione orbium coelestium deque causis coelorum numeri, magnitudinis, motuumque periodicarum geminis et propriis demonstratum per quinque regularia corpora geometrica, Tybinga 1596 r.

Bailly o Keplerze — Arago, l. c., str. 226

tytuł dzieła Keplera z 1609 r. — Astronomia nova ἀπολόγητος sive physica coelestis, tradita commentariis de

motibus Staellae Martis ex observationibus Tychonis Brake, Praga 1609 r.

tytuł dzieła, zawierającego trzecie prawo Keplera — Harmonices mundi libri quinque, geometricus, architectonicus, harmonicus, psychologicus, astronomicus cum appendice continens mysterium cosmographicum, Linz 1619 r.

tytuł książki Keplera, wydanej w 1620 r. „Epitome astronomiae copernicanae, in septem libris conscripta; libri tres priores de doctrina sphaerica, in qua, praeter physicam accuratam, applicationem motus terrae diurni, ortusque ex eo circulorum sphaerae, tota doctrina sphaerica nova et concinniori methodo auctior traditur; additis exemplis omnis generis computationum astronomicarum et geographicarum, quae integrarum praeceptionum vim sunt complexa", Linz 1618 r., 1621, 1622 r.

jeden z biegunów wykazuje dążenie ku słońcu, drugi... oddalanie się od niego — Kepler zakłada, że dwie te siły wzajemnie się równoważą, gdy kąt między osią magnetyczną planety i prostą, łączącą jej środek ze słońcem, jest kątem prostym, we wszystkich innych przypadkach stosunek działań tych sił jest funkcją kąta

nowej, odkrytej przez Keplera metody rachunkowej — metoda, o której nieco obszerniej jest mowa w rozdziale trzecim, polegała w danym przypadku na „przeliczeniu i rozczłonkowaniu koła" (per numeros et anatomia circuli); na tej drodze Kepler znalazł wartość $\int_0^{\frac{\Pi}{2}} \sin\varphi \, d\varphi$ — Cantor, l. c., tom II, str. 830

streszczenie doktryny Descartes'a według wydania: „Oeuvres de Descartes publiées par Charles Adam et Paul Tannery", Paris, Leopold Cerf. — Tom XIII. Principia philosophiae. Obszerne omówienie teorji wirów Descartes'a podaje Rosenberger l. c. str. 141—145 oraz krócej L. Bloch l. c. str. 270—271: po polsku rozbiór prac fizycznych Descartes'a znaleźć można w „Wielkiej Encyklopedji Ilustrowanej"; tom XV. str. 418—420 w artykule S. K. (Stanisława Kramsztyka)

przez „astra" Descartes rozumie zarówno gwiazdy stałe (fixae), jak i planety

znaczenie słowa „moles" u Descartes'a — o ile można sądzić z ustępu na str. 215 „Zasad filozofji" — massa auri

vicies plus ponderet, quam moles aquae ipsi aequalis — obydwa słowa miały u niego to samo znaczenie (massa i moles)

komentarz Averroesa według D u h e m a, l. c., str. 238

o pracy Bullialdusa według R o s e n b e r g e r a, l. c., str. 146 i B l o c h a l. c., str. 272

opierając się na niezrozumianym przez siebie tekście Kopernika — z uwagi Kopernika, że Filolaos sądził, iż ziemia opisuje drogę kołową dookoła ognia środkowego, Bullialdus wyciągnął wniosek, że Filolaos był wyznawcą układu heljocentrycznego — D u h e m, l. c. str. 21

o Bullialdusie Newton wspomina dwukrotnie: w liście do Halleya z 20 czerwca 1686 r. „Bullialdus pisał, że każda siła, o ile słońce jest jej środkiem i o ile zależy od materji, musi być odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości od słońca" (R i g a u d l. c. str. 62); i następnie w „Zasadach" (liber III, phaenomenon IV), gdzie się znajduje przytoczony w tekście ustęp

o Borellim według R o s e n b e r g e r a l. c. str. 147—149, B l o c h a l. c., str. 275 i E. D ü h r i n g a „Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik". Wydanie 3, Leipzig, Fues 1887, str. 180

streszczenie rozpraw Hooke'a, jak również cytaty z nich i z listu Horroxa według R i g a u d, l. c., str. 38—40 i str. 56—58. Prace te omawia R o s e n b e r g e r, l. c. str. 151—153, B l o c h, l. c., str. 277 i D ü h r i n g, l. c. str. 181, który omawia łącznie wszystkie prace Hooke'a z tej dziedziny i bardzo wysoko je stawia

szybkie zmniejszanie się ciężaru ciała w miarę oddalania się od ziemi — taki był np. pogląd Franciszka Bacona, który przypuszczał, że przeniesienie ciała z dna kopalni na jakąś górę może zmniejszyć ciężar ciała trzykrotnie — R i g a u d, l. c., str. 57

oświetlenie krytyczne opowieści Voltaire'a i Pembertona u R o s e n b e r g e r a, l. c., str. 118—132, C h i l d w rozprawie „Newton and the Art of Discovery" (Memor. Volume, str. 125—129) wskazuje na jeszcze jedno możliwe źródło, z którego mógł czerpać Newton, a mianowicie na dzieło B a l i a n i e g o „De motu", wydane w 1639, i twierdzi, że większość podstawowych twierdzeń mechaniki Newtona można powiązać z wywodami Balianiego. „Nie waham się

powiedzieć, że jeżeli Newton kiedykolwiek czytał dzieło Balianiego, to nie trzeba już szukać innych źródeł jego natchnienia; całość jego podstawowych zasad nie jest niczem innem, jak bezpośrednią z niego dedukcją". O Balianim wspomina Mach w swojej „Mechanice" (przekład rosyjski G. A. Kotlara pod redakcją N. A. Gezechusa, St. Petersburg, 1909, str. 115), jako o tym, który „bez trudu odczytał z wykładu Galileusza niezniszczalność nabytej prędkości"

cytata z Pembertona — Rigaud, l. c., str. 49—51; w cytacie, podanej przez Rosenbergera l. c. str. 128, jak się zdaje, błąd korektorski: zamiast $69^1/_2$ Rosenberger podaje $60^1/_2$, liczba, którą podaje Pemberton, jest nieco większa od liczby, znalezionej przez Picarda (około 69,4)

list, przytoczony w tekście, jest listem do Halleya z 20 czerwca 1686 r. Rigaud, l. c., str. 28.

DO ROZDZIAŁU TRZECIEGO

cytata z Galileusza o drodze w ruchu jednostajnie przyspieszonym według przekładu polskiego. — Galileo Galilei, „Rozmowy i dowodzenia matematyczne w zakresie dwóch nowych umiejętności, dotyczących mechaniki i ruchów miejscowych". Przełożył F. K. Wydawnictwo Kasy Mianowskiego 1930, str. 129

o znaczeniu tego rozumowania Galileusza dla rozwoju rachunku nieskończonościowego — porówn. Dühring, l. c., str. 54; omówienie tej metody u Macha, l. c., str. 106, 107

wyznaczanie pola paraboli — Galileo Galilei, l. c., str. 108—110

tytuł pracy matematycznej Keplera — „Nova stereometria doliorum vinariorum"; streszczenie tej pracy głównie według Cantora, l. c., tom II, str. 821—829

zależność Cavalieriego od Galileusza wynika z listów, których ustępy przytacza Cantor, l. c., tom II, str. 832, 848; o tej zależności świadczy choćby ustęp następujący rozmów: „tworzenie linij z punktów, podzielnych z niepodzielnych, skończonej z nieskończonostek" — l. c., str. 27

na związek między metodą Robervala i badaniami Galileusza wskazuje fakt, że w tym samym mniej więcej cza-

sie (1644 r.) Torricelli pod niewątpliwym wpływem Galileusza użył niezależnie od Robervala tej samej metody do wyznaczenia stycznej do paraboli, Cantor l. c. tom II, str. 883—891, gdzie jest omówiony obszernie zatarg między Robervalem i Torricellim co do prawa pierwszeństwa

metoda Robervala została ogłoszona początkowo w 1644 r. przez Mersenne'a w książce „Cogitata Physico-Mathematica", następnie w 1668 r. w rozprawie „Observations sur la composition des mouvements et sur le moyen de trouver les touchantes des lignes courbes", napisanej przez du Verdusa, ucznia Robervala, i częściowo tylko przez Robervala poprawionej. — Cantor, l. c., tom II, str. 880

ustęp z Galileusza o rzucie ciał — Galileo Galilei, l. c., str. 176

o metodzie Wallisa — Cantor, l. c., tom II, str. 899—904; Rosenberger, l. c., str. 424—425; Bloch, l. c., str. 51

postać, jaką Newton nadał wzorom Wallisa znajduje się w pierwszym paragrafie „De analysi", według J. M. Childa „Newton and the Art of discovery" (Memor. Volume), str. 120

ustęp z listu Newtona do Oldenburga, zawierający opis rozumowania Newtona, brzmi, jak następuje: „Na początku swych studjów matematycznych, gdy przerabiałem dzieło naszego znakomitego Wallisa, rozpatrywałem szeregi, przy których wstawieniu (intercalatio) daje on pola koła i hiperboli. Zauważyłem, że jeżeli w szeregu krzywych, których podstawą, jest x, rzędne zaś im odpowiadające są $\overline{1-xx}^{\frac{0}{2}}$, $\overline{1-xx}^{\frac{1}{2}}$ $\overline{1-xx}^{\frac{2}{2}}$, $\overline{1-xx}^{\frac{3}{2}}$, $\overline{1-xx}^{\frac{4}{2}}$, $\overline{1-xx}^{\frac{5}{2}}$, $\overline{1-xx}^{\frac{6}{2}}$ i t. d., pola co drugiej krzywej, które są x, $x-\frac{1}{3}x^3$, $x-\frac{2}{3}x^3+\frac{1}{5}x^5$, $x-\frac{3}{3}x^3+\frac{3}{5}x^5-\frac{1}{7}x^7$ i t. d. mogą być interpolowane, otrzymamy pola krzywych pośrednich, z których pierwsza $\overline{1-xx}^{\frac{1}{2}}$ jest kołem. Dla ich interpolacji zanotowałem, że w nich wszystkich pierwszy wyraz jest x, drugie zaś wyrazy $\frac{0}{3}x^3$, $\frac{1}{3}x^3$, $\frac{2}{3}x^3$, $\frac{3}{3}x^3$ i t. d., tworzą postęp arytmetyczny, i że wobec tego dwa pierwsze wyrazy szeregów, które mają być wstawione, muszą być $x-\frac{\frac{1}{2}x^3}{3}$, $x-\frac{\frac{3}{2}x^3}{3}$,

$x - \frac{\frac{5}{4} x^3}{3}$ i t. d. Dla wstawienia pozostałych wyrazów zauważyłem, że mianowniki 1, 3, 5, 7 i t. d. są w postępie arytmetycznym, i że wobec tego należy jedynie znaleźć liczbowe współczynniki liczników. Co więcej, w danych polach co drugiej krzywej są one cyframi potęg liczby jedenastkowej, a mianowicie 11^0, 11^1, 11^2, 11^3, 11^4 t. zn. po pierwsze 1, dalej 1, 1; po trzecie 1, 2, 1, po czwarte 1, 3, 3, 1; po piąte 1, 4, 6, 4, 1 i t. d. Tak szukałem sposobu, w jaki dla tych szeregów można wyprowadzić pozostałe liczby z dwu pierwszych, i znalazłem, że, oznaczając drugą liczbę przez *m*, pozostałe liczby otrzymamy, mnożąc kolejno przez wyrazy szeregów

$$\frac{m-0}{1} \times \frac{m-1}{2} \times \frac{m-2}{3} \times \frac{m-3}{4} \times \frac{m-4}{5} \text{ i t. d.}``$$

według Childa, l. c., str. 118

ustęp z tegoż listu o zastosowaniu tej metody do rozwinięcia dwumianu według Childa, l. c., str. 121

rozwinięcie funkcyj trygonometrycznych w szereg — ściśle biorąc odnosi się to do nieco późniejszego okresu. Cantor, l. c. tom III, str. 74

o sposobie dowodzenia przez Newtona — Cantor, l. c., tom III str. 71, 73; Bloch, l. c., str. 69 — 71; Child, l. c., str. 120

ustęp z „De analysi" o rozwinięciu w szereg ułamka $\frac{1}{1+x^2}$ według Childa l. c., str. 120; podobne przykłady znaleźć można i w znacznie późniejszej pracy Newtona „Tractatus de quadratura curvarum" (1704 r.) np. na str. 15 przekładu niemieckiego — Ostwalds Klassiker Nr. 164

ustęp z listu do Oldenburga o zagadnieniach zagmatwanych (perplexis conditionibus) — według Blocha, l. c., str. 71; z tej książki również wzięte są cytaty z „Arithmetica universalis"

o wrażeniu, jakie wywarło na współczesnych rozwinięcie dwumianu w szereg świadczy opowieść, w której prawdziwość Cantor, l. c., tom III, str. 69, wątpi, że rozwinięcie to miało być wyryte na nagrobku Newtona w opactwie Westminsterskiem. Obecnie wskutek zupełnej nieczytelności napisu sprawdzić tego nie można

dzieje tego odkrycia są w tekście przedstawione nieco inaczej, niż to się zazwyczaj spotyka, szczególniej w popularnych książkach; poszliśmy tu za Childem, którego objaśnienie listu do Oldenburga wydało się nam całkowicie przekonywającem; podobnie zresztą, choć nie tak wyraźnie przedstawia tę sprawę Cantor

poglądy matematyczne Barrowa — według Cantora, l. c., tom III, str. 131 — 137

zawiłą i trudną do rozstrzygnięcia sprawę zależności pierwszych pomysłów matematycznych od Barrowa rozpatrują Child, l. c., str. 122 — 125 i Cantor, l. c., tom III, str. 158

szczegóły, dotyczące rozwoju rachunku fluksyj podaje Morgan, l. c., str. 67 — 104; przypis wydawcy Ph. Jourdaina zawiera chronologiczne zestawienie wszystkich notatek, listów i rozpraw Newtona, dotyczących rachunku fluksyj za czas od 20 maja 1665 r. do 1704 r. — str. 107 — 112

notatka Newtona z 13 listopada 1665 wydrukowana w przypisach u Rigaud l. c., str. 20 — 22.

DO ROZDZIAŁU CZWARTEGO

cytata o Newtonie, jako rzemieślniku, Voltaire, „Lettres philosophiques", l. c. str. 143, który wziął ją z książeczki, jaką czytał podczas swego pobytu w Londynie

listy Barrowa do Collinsa o Newtonie, Morgan, str. 12, który twierdzi, że wyrazy, w jakich Barrow pisze o Newtonie, nie były czemś niezwykłem

o pierwszej postaci teleskopu, wykończonej w 1668 r., Rosenberger, str. 52; teleskop ten pozwalał widzieć księżyce Jowisza i fazy Wenery

o teleskopie Gregoryego Newton wspomina w artykule, ogłoszonym w maju 1672 r. w Philosoph. Trans. p. t. „Considerations upon part of a Letter of Monsieur de Bercé... concerning the Catadrioptical [!] Telescope, pretended to be improved and refined by M. Cassegrain". W teleskopie Gregoryego, podobnie jak w późniejszym teleskopie Cassegraina, obraz utworzony przez wklęsłe zwierciadło, padał nie tak jak w teleskopie Newtona na płaskie zwierciadło, lecz na drugie (mniejsze) zwierciadło wklęsłe; obraz

utworzony przez to drugie zwierciadło, był rozpatrywany przez okular, umieszczony w środku zwierciadła pierwszego na osi teleskopu. W przytoczonym artykule Newton pisze: „miałem sposobność oglądania tego rodzaju budowy i znalazłem tak wielkie jej wady, iż uznałem za konieczne... zmienić ten plan i umieścić okular (Eye glass) raczej z boku rury, niż pośrodku". H. Zeitlinger. A Newton Bibliography. M. V. str. 149

odpowiedź na zarzuty stawiane teleskopowi, Rosenberger, str. 55, 56 i 57

urywek z „Optyki" według przekładu niemieckiego w „Ostwalds Klassiker", tom 96, str. 83. Część druga. Prop. III, doświadczenie 8. Rosenberger, str. 56

o polerowaniu zwierciadeł „Optyka", l. c., str. 69 i 70; *opis teleskopu*, l. c., str. 71 — 73

list do Oldenburga z podziękowaniem, z d. 2. I. 1672 r. Rosenberger, str. 53 — 54

polemikę, wywołaną wynalazkiem teleskopu zwierciadłowego, obszernie omawia Rosenberger, str. 54 — 59

praca Newtona o „Nowej teorji światła i barw" została wydrukowana w Philosoph. Trans. z 19 lutego 1672 (w/g poprawionej daty; datowanie angielskie, wówczas używane, rozpoczynało rok od 25 marca; praca Newtona, zgodnie z ówczesnym sposobem liczenia, nosiłaby datę 19. 2. 1671 r.). W tekście cytujemy ją według Rosenbergera, l. c., str. 60 i dalsze, który podaje ją prawie w całości. Streszczenie, umieszczone w „A Newton Bibliography" Zeitlingera, M. V. str. 148, pewnemi szczegółami różni się od tekstu Rosenbergera: data kupna pryzmatu jest nie 1666 r., lecz 1661 r., początek doświadczeń jest też odniesiony do daty wcześniejszej (1665 r.). W tekście poszliśmy za wersją Rosenbergera, a to dlatego, że wszystkie te wcześniejsze doświadczenia niewątpliwie żadnego znaczenia nie miały

Jan Marcus Marci — Rosenberger, str. 15 i nast.; Mach. Die Prinzipien der physikalischen Optik. 1921, str. 119 — 120; tytuł dzieła Marcusa Marci jest u Macha podany nieściśle; tytuł ten jest następujący: „Thaumantias, Liber de Arcu coelesti deque Colorum Apparentium natura, ortu et causis", Pragae 1648

poglądy Keplera na światło — Rosenberger, str. 13; Arago, str. 216 — 223 podaje obszerne streszczenie tej pracy, której całkowity tytuł jest następujący: „Ad Vitellionem Paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur; potissimum de artificiosa observatione et aestimatione diametrorum, deliquiorumque solis et lunae", Frankfurt 1604; opuszcza jednak wywody, dotyczące istoty światła, jako „nacechowane wszystkiemi przesądami epoki"; zaznacza jedynie, że światło według Keplera polegało na ciągłym wypływie materji ciała świecącego i że prędkość jego była nieskończenie wielka

Marek Antoni de Dominis — Rosenberger, str. 14 — 15; Mach, str. 118 — 119; Bloch, str. 563; streszczenie doświadczeń de Dominisa u Arago, str. 306; tytuł pracy de Dominisa: „Tractatus de radiis visu et lucis in vitris perspectivis et iride", Venezia 1611 r.

ustęp z „Rozmów" Galileusza; Galileo Galilei, l. c., przekład polski str. 38 — 40

Z dalszego ciągu rozmowy, w której opisany jest słynny pomiar prędkości światła przy pomocy ślepych latarek, wynikałoby jednak, że Galileusz działanie światła przypisywał energji ruchu światła, a to nie przeczyłoby założeniu, że światło jest substancją. Twierdzenie Blocha str. 564, że według Galileusza samo światło (nie zaś jego działania) jest ruchem i „że wobec tego wprawia w ruch szczególne środowisko", nie znajduje, jak nam się wydaje, wyraźnego potwierdzenia w tekście

teorja światła Descartes'a. „Princ. phil", str. 108, 115, 249, Rosenberger, str. 22

ustęp z „Optyki" Barrowa, Arago, str. 348 — 349, nieco innemi słowy ustęp ten przytacza Brewster, l. c. str. 28

prace Grimaldiego i Hooke'a, Rosenberger, str. 27 — 42; Mach, 185 — 192, Bloch, str. 565 — 568; wyjątek z „Micrographia" Hooke'a został przetłumaczony na polski przez dr. S. Ziemeckiego „Z dziejów rozwoju fizyki", wydanie pierwsze. Warszawa 1914. Tom II, str. 288

o niedrukowaniu sprawozdania Hooke'a — protokół posiedzenia T-wa Królewskiego zawiera podziękowanie Hooke'owi za trud zredagowania oceny i decyzję niedrukowania, jej „aby p. Newton nie widział w drukowaniu tak

nagłem krytyki jego rozprawy lekceważenia pracy, która była z takim aplauzem kilka dni temu przyjęta przez T-wo" Brewster, l. c., tom I, str. 89

polemika Hooke'a z Newtonem — Rosenberger, l. c., str. 73 — 82 i str. 98 — 117; Bloch, l. c., str. 580 — 587; 601 — 610

wstęp do pracy Newtona z 1675 r. podaje w przypisach Brewster, l. c., tom I, str. 390 — 409; jest to jednak, jak się zdaje, nie cały wstęp, brak bowiem w nim ustępów, podanych w obszernem streszczeniu Rosenbergera, str. 102 — 109, i stanowiących zakończenie wstępu. Rosenberger opiera się na książce Bircha „History of Royal Society"

dalsza część tej pracy według niemieckiego przekładu W. Abendrotha w „Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften" str. 1 — 50; streszczenie jej podaje również Mach, l. c., str. 192 — 200

przyrównanie ośmiu barw widma do oktawy — według wyjaśnień W. Abendrotha w przytoczonym wyżej niemieckim przekładzie „Optyki", (str. 149) Feussner obliczył dla tych ośmiu barw długości fali w mm., biorąc za punkt wyjścia podaną przez Newtona grubość warstwy powietrza między barwą żółtą i pomarańczową $\frac{1}{178000}$ cala, i stwierdził, że naogół otrzymuje się dokładne wartości dla wszystkich barw z wyjątkiem czerwonej. Feussner ogłosił wyniki swych rachunków w Winckelmanowskim „Handbuch der Physik" tom II, 1, str. 549

rozróżnianie prędkości światła i prędkości rozchodzenia się zaburzeń w eterze stanowi jakby pewną analogję do rozróżniania przez fizykę współczesną prędkości grupy i prędkości fazy. Według założeń teorji de Broglie prędkość grupy jest prędkością poruszającej się cząstki materjalnej (ciałka świetlnego u Newtona), prędkość fazy — prędkością fal, towarzyszących temu ruchowi.

SPIS ROZDZIAŁÓW

Str.

I. Dzieciństwo i młodość 1
II. Początki teorji grawitacji 26
III. Pierwsze prace matematyczne 59
IV. Teorja barw 91
Bibljografja 143
Przypisy 144

Z CYKLU „DLA WSZYSTKICH"
SERJA C. BIBLJOTECZKA PRZYRODNICZA

polecamy:

Stopień I dla dzieci i młodzieży, stopień II dla młodzieży i dorosłych.

201. FARADAY, M. Dzieje świecy. Z ilustr. (Stopień II). Wydanie drugie 2,20
202. GAYÓWNA, D. Sosna. Z ilustr. (Stopień II) 1,20
203. BREHM. Z życia naszych szkodników i sprzymierzeńców. Z ilustracjami. (Stopień I) . . 1,70
204. — Z życia ptaków. Z ilustracjami. (Stopień I) 1,20
205. BOHUSZEWICZÓWNA, Z. Darmozjady w świecie roślin. Z ilustr. (Stop. II) . . . . —,90
206. — Rośliny owadożerne. Z ilustr. (Stopień II) 1,—
207. GROTOWSKA, H. Wzajemna zależność świata zwierzęcego i roślinnego. Z ilustr. (Stopień II) 1,10
208. DYAKOWSKI, B. Z przyrody Bałtyku. Z ilustr. (Stopień II) 1,60
209. GORBUNOW-POSADOW, J. Z życia naszych zwierząt domowych. Z ilustr. (Stopień I) . . 2,—
210. KUJAWSKA, A. Owady-ogrodnicy. Z ilustr. (Stopień II) 1,40
211. GROTOWSKI, M. Michał Faraday. Życiorys. Z ilustr. Stopień II) 2,60
212. HARABASZEWSKI, J. Woda. Z ilustr. (Stopień II) 1,50
213. FLESZAROWA-DANYSZ, R. Wśród nocy i lodów. W/g Fridtjofa Nansena. Z ilustr. (Stop. II) 1,80
214. DYAKOWSKI, B. O wulkanach. Z ilustr. (Stopień II) 1,50
215. SADZEWICZOWA, M. Lądem, wodą i powietrzem. Z ilustr. (Stopień II) . . . . 1,—
216. KALINOWSKI, S. i KALINOWSKA, Z. Magnetyzm ziemski. Z ilustr. (Stopień II) . . . 2,50
217. GROTOWSKA, H. Zwierzęta juczne i pociągowe w obcych krajach. Według Brehma. Cz. I. Z ilustr. (Stopień I) 1,40

E r r a t a w Części I.

str. 18 w. 9 od góry: jest Sandersona, powinno być Saundersona
str. 35 w. 5 od dołu: jest (appetenti), powinno być (appetentia)
str. 59 w. 3 od góry: jest ageometretos, powinno być ageometreos
str. 59 w. 2 od dołu: jest nove, powinno być nuove
str. 61 w. 10 od góry: jest QO, powinno być RO
str. 85 w. 5 od dołu: jest drugą potęgę *e*, powinno być drugą potęgę *a*
str. 93 w. 2 od góry: jest lektora, powinno być tutora.